



新型和新兴的可持续 渔业技术综述

美国环保协会|海洋技术解决方案|2021年4月

新型和新兴的可持续渔业技术综述

作者：

美国环保协会

Christopher Cusack

Omisha Manglani

Shems Jud

Katie Westfall

Rod Fujita

Nicole Sarto 咨询

Nicole Sarto

Poppy Brittingham

Fathom 咨询

Huff McGonigal

欲联系本报告作者，请通过 edf.org/oceans/smart-boats 提交信息。

目录

缩略词表	5
1. 引言	7
2. 变革性技术	12
2.1 传感器	12
2.2 卫星遥感	16
2.3 数据采集平台	17
2.4 智能手机	20
2.5 公民科学家	21
2.6 数据连通性	21
2.7 人工智能	23
2.8 数据系统和云	24
2.9 渔具改造	25
2.10 生物技术	26
3. 水上活动	28
3.1 渔获量和捕捞努力量核算	28
3.1.1 电子监控	29
3.1.2 电子报告	32
3.1.3 估算渔获量和捕捞努力量的遥感技术	34
3.1.4 岸基摄像机	34
3.2 合规监测	35
3.2.1 渔船跟踪装置	35
3.2.2 促进渔业监测、控制和监视的远程跟踪技术	36
3.3 资源丰度和生产力估算	38
3.3.1 摄像机视觉调查	39
3.3.2 用于评估的声学技术	41
3.3.3 环境 DNA 和遗传学	42
3.4 海洋生态系统监测	44
3.4.1 海洋生态系统测绘	44
3.4.2 污染监测	46
3.4.3 监测海洋动物健康状况	47
3.4.4 声学生态系统监测	48
3.4.5 珊瑚礁健康状况监测	49
3.4.6 海洋观测	49

3.5 提升供应链透明度.....	50
3.5.1 减少海产品欺诈.....	53
3.5.2 采购负责任海产品	53
3.5.3 跟踪小规模海产品	54
3.6 数据集成和管理.....	55
3.6.1 改进捕捞作业.....	56
3.6.2 利用海洋数据生态系统创造新价值.....	58
4. 海洋技术筹资环境	60
4.1 筹资渠道.....	61
4.1.1 政府机构.....	62
4.1.2 双边援助机构	65
4.1.3 国际金融机构	66
4.1.4 多边机构	68
4.1.5 慈善基金会.....	69
4.1.6 非政府组织	72
4.1.7 民间融资.....	74
4.1.8 加速器项目	76
4.2 近期筹资活动.....	78
4.2.1 增加筹资的资金量和多元性.....	78
4.2.2 各类技术的近期趋势.....	79
4.2.3 增长趋势的例外	82
4.3 展望未来.....	83
4.3.1 透明度	83
4.3.2 数据集成、访问和使用	84
4.3.3 机构能力建设	84
4.3.4 实施条件.....	85
4.3.5 小规模渔业	86
4.3.6 科研活动.....	87
4.3.7 新兴兴趣.....	88
5. 致谢	90
6. 参考文献.....	91

缩略词表

ADB	亚洲开发银行
AFMA	澳大利亚渔业管理局
AFSC	阿拉斯加渔业科学中心
AI	人工智能
AIS	自动识别系统
AWS	亚马逊网络服务
BDC	Berring 数据集合
BDP	大数据项目
BFAR	菲律宾渔业与水产资源局
CI	保护国际基金会
CPUE	单位捕捞努力量渔获量
DARPA	美国国防高级研究计划局
DFI	发展金融机构
DL	深度学习
DNB	昼夜光带
DOV	潜水员操作视频系统
EDF	美国环保协会
EEZ	专属经济区
EFCA	欧洲渔业控制局
EIB	欧洲投资银行
EIF	欧洲投资基金
EM	电子监控
EMR	电子监控和电子报告
ERP	企业资源计划
EU	欧盟
FAD	人工集鱼装置
FAO	（联合国）粮食及农业组织
FIP	渔业改进项目
GDST	海产品可追溯性全球对话平台
GEF	全球环境基金
GFW	全球渔业观察
GPS	全球定位系统
GSI	遗传种群鉴定
GSM	全球移动通信系统
IMO	国际海事组织
IUU	非法、不报告和不管制（捕鱼）
JICA	日本国际协力事业团
LiDAR	激光雷达
MCS	渔业监测、控制和监视
MPA	海洋保护区
MSC	海洋管理委员会
MSP	海洋空间规划

NFC	近场通信
NFWF	美国国家鱼类和野生动物基金会
NGO	非政府组织
NOAA	美国国家海洋和大气管理局
OECD	经济合作与发展组织
PNA	《瑙鲁协定》缔约国
PSMA	《港口国措施协定》
RFID	射频识别
RFP	需求建议书
ROV	遥控潜水器
RUV	远程水下航行器
SALT	海产品合法性和可追溯性联盟
SAPO	预警、预测和观测系统
SAR	合成孔径雷达
SBI	智能船舶倡议
SDG	可持续发展目标
SERNAPESCA	智利国家渔业与水产养殖局
SK	Saltonstall-Kennedy 索顿斯托尔-肯尼迪
SLAR	合成孔径侧视雷达
SOF	可持续海洋基金
SSF	小规模渔业
TNC	大自然保护协会
TUV	拖曳式水下机器人
UAS	无人机系统
UN	联合国
USAID	美国国际开发署
USGS	美国地质调查局
USV	无人水面艇
VIIRS	可见光红外成像辐射仪套件
VMS	渔船监测系统
WCPO	中西部太平洋渔业委员会
WCPO	中西部太平洋
WWF	世界自然基金会



1.引言

我们的海洋正处于一个拐点。20 世纪不加节制的行为——对大部分可利用生物资源的过度开发，塑料和其他化学物质造成的过度污染，混乱无序和相互竞争的利益方激烈争夺海岸和海洋空间，以及采掘业的过度资本化——正在产生非常严重的影响，不仅严重威胁海洋生物和海洋生态系统，还严重威胁世界粮食安全和营养状况，依赖海洋生存的社区的生计以及人类的未来。随着越来越多的人意识到这一问题，这种情况开始有所缓解。

自第一次工业革命以来，人类经历了快速技术变革，这是导致世界海洋遭到大规模破坏的直接原因。这种广泛变革不仅给人类带来了前所未见的最大生存威胁——气候变暖，还显著提高了人类利用海洋矿产和生物资源的能力；陆地上的新制造工艺将大量废水废气排放至海洋和大气中；更先进的通信和交通运输技术快速推动全球化进程，颠覆了传统生活方式，更青睐基于消费的生活方式。具有讽刺意味的是，新兴技术不仅是导致我们造成如此大规模影响的原因，也是减轻和逆转这些影响必不可少的工具。在过去几十年里，我们实现了令人难以置信的广泛技术进步，这些进步正在影响地球上的每一个人。其中最重要的也许是通信网络规模的大规模扩张，现已覆盖地球的每一个角落（以及一定深度）。目前，全球智能手机用户已经达 35 亿，而手机使用的蜂窝网络速度越来越快，普及率越来越高。目前人类已向太空发射数万颗微型卫

星，其中一些只有烤奶酪三明治那么大¹，这些卫星编织的网络已覆盖地球大部分地区。目前研究人员正在开发水声调制解调器²等水下通信方法。这些通信基础设施正在支持和推动一场数字革命。云计算使任何能够连接互联网的人都能够使用超级计算机，推动新技术获取的去中心化，并促进技术在全球的更广泛应用。新传感器技术正在扩大采集的数据类型——并降低数据采集成本——进而拓宽我们的视野，使我们能够更深入地了解海洋以及人类活动对海洋造成的影响。采用人工智能技术的新分析工具正在提高我们利用这些不断扩展的数据集的能力，这在不久之前仍是不可想象的。越来越多的用户能够利用更多信息创造更多价值，进而推动集成技术的开发，使单一信息源能够为多方所用。一种强调免费使用、访问和共享的数据管理范式正在取代信息巨石模式，即数据采集者才能存储和使用数据。

目前我们正在经历第四次工业革命，越来越多的集成技术被用于自动化生产过程，与此同时，第四次环保主义浪潮如火如荼，环境责任日益成为企业经营必不可少的一部分。这种关联关系是一个重大机会，我们可以利用新技术在企业经营过程中促进环境可持续性，如此一来便可推动全球大部分产业的结构重组——这种结构重组的核心支柱是数字技术的新兴潜力。全球大多数产业都在迅速向新范式转变，渔业却被落在了后面。这一现象背后存在诸多深层原因：渔民往往没有特许经营权而且组织不善，在政策过程中缺乏话语权；鱼类数量难以统计；渔民往往是独立经营者，高度分散并且难以追踪；许多渔业难以管理，导致渔业资源消耗量远远高于潜力。所有这些因素（以及其他诸多因素）交织耦合，不仅导致难以“标准化”或“合理化”鱼类资源管理，也导致整个渔业管理更加复杂，不管是从后勤支持还是投资角度来看，渔业改进举步维艰。但是，导致渔业难以获得投资来推动技术进步的因素也代表着技术能够产生重大影响，推动渔业大踏步迈向数字化未来的领域。

在过去十年里，尽管进展缓慢，渔业仍然实现了以技术为核心的人力、资本和政治资源的广泛动员，旨在扭转之前行动造成的影响，同时制定海洋可持续利用战略。

动员全球资源，促进海洋可持续利用日益紧迫，这一点也在联合国于 2015 年制定的可持续发展目标 14（保护和可持续利用海洋和海洋资源促进可持续发展）³和“联合

¹ <https://swarm.space/>

² <http://www.teledynemarine.com/acoustic-modems>

³ <https://sdgs.un.org/goals/goal14>

国海洋科学促进可持续发展十年”（简称“海洋十年”）⁴中有所体现。“海洋十年”的总体目标是遏制海洋健康不断下滑的趋势，构建一个共同框架，汇集所有利益相关者，确保所有国家都能利用海洋科学，促进海洋可持续发展。其他备受关注的全球倡议包括联合国粮食及农业组织牵头的《港口国措施协定》（PSMA）⁵，拒绝为从事非法、不报告和不管制捕捞（IUU）的船舶提供服务（包括卸货），以此来打击 IUU 捕捞行为；此外，世界自然保护联盟（IUCN）呼吁到 2030 年至少保护地球上 30% 的海洋，禁止在保护区内开采资源（30×30）⁶。这些努力意味着人们开始意识到，海洋可持续利用面临的挑战过于严峻，仅采用零散、非系统性解决方案已无法解决。

如果没有新兴技术在其中发挥核心作用，这些倡议都无法实现。例如，《港口国措施协定》的成员国之所以能够确定对哪些船舶采取制裁措施，是因为它们采用了基于技术的船舶跟踪和海产品追溯系统。而为了划定“30×30”倡议的保护区，以便最大限度地保护生态系统，同时最小化与其他海洋资源使用者的冲突，我们必须了解并测绘海洋栖息地和人类活动的空间分布。联合国“海洋十年”规划的发布表明我们目前已经掌握大幅增进对海洋生态系统以及人类行动如何影响海洋的认识所需的技术。这类合作协议推动各国做出响应，在推动技术创新方面发挥着重要作用。例如，国际海事组织（IMO）的任务规定之一是要到 2050 年将国际航运温室气体排放量减半⁷，这有助于提高在 2030 年前将零排放船舶推进系统投入市场的可能性（Leape 等，2020 年）。而国际海事组织的《渔船安全开普敦协定》⁸则可通过制定可实现的船舶建造和设计性能标准来协助降低商业渔船船员面临的风险。

政府法规可能是重要的创新驱动力，尤其是在监管机构重点关注制定体现当前技术进展，同时激励进一步创新和效率提升的法规的情况下。

政府也在为技术发展提供资金方面发挥着重要作用，并且是一个重要的融资渠道，例如获取世界银行投资。总体而言，渔业和海洋技术的筹资环境正在持续改善，越来越多的影响力基金和私营部门开始为技术发展和渔业改进提供追求收益的投资，对慈善机构、非政府组织（NGO）、政府和多边资金等传统资金来源进行补充。渔业技术发展和海洋可持续利用的产品和服务的成熟市场规模相对较小，因此相关融资一直具

⁴ <https://en.unesco.org/ocean-decade>

⁵ <http://www.fao.org/port-state-measures/en/>

⁶ <https://www.iucn.org/resources/issues-briefs/marine-protected-areas-and-climate-change>

⁷ <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/06GHGinitialstrategy.aspx>

⁸ <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/25-Torremolinos-Conference.aspx>

有挑战性。例如，具有明显商业价值的水产养殖创新的资金非常充足，但渔业监测和海洋科学的资金却相对较少。目前，这种现象正在发生变化。越来越多的组织开始采用“蓝色经济”方法来投资海洋领域，以促进以可持续发展为重点的投资，这些投资通常是在推动实现可持续发展目标 14 的框架下进行的。这种方法的基础信念是蓝色经济将实现持续显著增长，虽然我们目前对于蓝色经济将通过何种机制创造货币价值知之甚少，这些机制将在未来得到进一步解释。

我们尚不清楚未来将如何在海洋领域创造价值，但这一领域的巨大潜力毋庸置疑。

然而，实现强劲、以可持续发展为重点的海洋经济的路径仍然存在一个缺口，这是一个循环论证概念导致的结果，即，推动技术创新需要一个强大的海洋技术市场，然而，为了刺激市场发展，我们迫切在市场尚未完善时获取技术解决方案投资。这就是技术加速器、私人投资者和专用慈善基金出资人的用武之地，它们提供资金并且往往会提供技术支持来填补这一缺口。但是，刺激市场发展不仅仅是通过提供资金提升技术创新能力的问题，还需刺激对这些创新技术采集的信息的需求，这些需求将来自不断壮大的用户群体。一个相对明确的信息需求来源是：主要海产品买家越来越强调负责任的海产品采购，确保海产品的环保性和安全性，避免心怀不轨的供应链参与者大发横财，并确保将利益公平分配至供应链上的各个节点。消费者也愿意为这些特点买单（例如 Fonner 和 Sylvia，2015 年；Zander 和 Feucht，2018 年），如此一来便可为收集可追溯性数据提供直接价值。在传统上，获取这些信息需要利用可互操作的追溯体系，而在之前只有一些规模最大的公司才具备使用这一功能的能力。随着智能手机和云应用的普及，现在越来越多的供应链参与者（包括小规模渔民）都能使用这些功能。

日益增长的信息需求，不仅需要证明从技术素养已经较高的地理区域收集的信息的价值（直接货币价值和间接保育价值），还需提升技术素养不高的地理区域的潜在信息用户能力的价值。

新技术在这一方面发挥着关键作用，执行重要任务需要的人力资本正在逐渐被技

术取代。最新技术进展提升了现有数据采集技术的成本效益，丰富了渔业管理者进行管理决策需要使用的工具。我们将数据转化为知识，以及应用这些知识来实现成功渔业和海洋管理的能力也得到提高。此外，在技术、机器学习和人工智能支持下实现的更迅速、更密集的数据采集工作极大增强了适应型渔业和海洋管理的潜力，以应对气候变化或其他动因导致的海洋变化。

我们收集的渔业和海洋数据量正在呈指数级增长，这是因为数据供应（通过传感器和搭载平台的技术提升和成本降低）和数据需求都在增加。与摆脱“信息巨石”的广泛变革相呼应的是目前我们正在构建一个新型海洋数据生态系统：更广泛地共享数据，更好地整合地方和传统知识，健康的数据创新环境（Leape 等，2020 年）。这个新型海洋数据生态系统将引领我们迈向渔业和海洋活动“彻底透明化”时代，并且随着促进更广泛、更便捷海洋数据共享的工具和过程持续改进，数据用户数量将持续增加，这就要求我们进一步提高数据可互操作性和加强数据集成。为了确保对海洋资源的可持续利用，我们需要了解并衡量我们的行动对海洋产生的影响。新型数据生态系统中整合的新兴技术将增进我们对海洋过程以及它们如何响应人类活动的影响的动态了解，并支持为实现任何海洋产业可持续管理开展的所有工作，其中最重要的当属渔业。

哪些广泛技术进步将对全球渔业和海洋资源管理产生重大影响？谁是推动渔业和海洋管理迈向新数字范式的主要参与者？哪些挑战已得到有效解决？哪些尚未得到有效解决？为了回答这些问题（以及其他更多问题），本文件全面系统的分析了渔业技术的“现状和进展”以及与使用新技术和新兴技术协助解决全球、区域和各国常见渔业挑战相关的当前活动，包括参与这些活动的个人、组织、国家和技术服务提供商。活动范围包括在安装水上摄像机或其他传感器等技术装置来采集数据，以及利用卫星监控非法捕捞行为的区域性活动，简化和现代化数据管理系统的全球性活动。这些活动着重强调解决特定情况下面临的挑战。尽管具体挑战因渔业而异，我们确定了许多渔业共同面临的一组挑战，这也是本报告的重点内容。这些挑战包括：渔获量和捕捞努力量核算、合规监测、种群丰度和生产力估算、海洋生态系统监测、提升供应链透明度、以及数据集成和管理。第 2 节概述协助推动海洋领域管理的新技术，讨论这些技术发展可能产生的当前和未来影响。第 3 节深入讨论上述与渔业相关的主要挑战，并讨论旨在解决这些挑战的具体实践倡议。第 4 节总结这些倡议的筹资和融资环境，并讨论主要资金类别的当前和未来趋势。



2. 变革性技术

数字革命的变革潜力正在呈指数级增长，这得益于用于采集信息的传感器及其搭载平台的功能改进和成本迅速下降，以及用于收集、分析、传输、存储和访问数据的技术的迅速改进。

虽然几乎所有研究和应用领域都在实现快速改进，对于改进渔业和海洋可持续管理至关重要的技术进步主要发生在以下几个领域：开发将广泛物理现象转化为可测量数字信息的传感器，扩大用于监测海洋的卫星星座群规模，无需人工控制便可探索海洋环境的全自动数据采集平台，以及改进捕捞技术，提高渔业作业效率，同时最大限度地降低环境危害。但是，最重要的却是能够推动所有行业（不仅是海洋产业）的技术进步——智能手机的大规模普及；无线网络速度和覆盖面的显著提高，使物联网（万物互联）成为可能；从独立计算机服务器到云计算（使任何能够连接至互联网的人都能够使用超级计算机）的持续转变；以及机器学习和人工智能领域的发展，使我们能够解读数字革命产生的大量数据，并利用这些数据创造价值。本节概述一些最重要的技术进展，并讨论这些进展对渔业和海洋管理的潜在影响。

2.1 传感器

传感器可测量光和声音等物理或化学变量，并将测量结果转换为数字信息或数据。

传感器是海洋监测和科学探索的基础：部署更多、更先进的传感器可采集更多、更优质的数据。小型化和降低能耗是传感器技术演进的主要方向（Leape 等，2020 年）。降低传感器运行需要的电力（通常是通过缩小传感器尺寸实现的）意味着传感器使用相同的电池可以持续运行更长时间，或者减少需要通过太阳能电池板或其他方法生产的电量。降低功耗也会推动传感器小型化，使其能够搭载在新的、更小的平台上，这些平台本身的运营能耗也比较低。一些传感器的尺寸非常小，可嵌入用于传输数据的系统中，例如光纤电缆（Zhan，2020 年），而且这些传感器的能耗非常低，甚至可以搭载在大黄蜂的背部（Iyer，2020 年）。

光敏传感器

智能手机摄像头市场的进步推动了渔业和海洋监测摄像机的发展。与前几年相比，现在的摄像机更小、更轻、分辨率更高、以更高帧速捕获图像、变焦能力更强、弱光条件下的性能更高、而且成本显著下降。为交通运输业设计的现成摄像机系统具有较高耐用性，可承受远洋和北极地区工作的条件。新西兰技术公司 SnapIT⁹设计了一个可在水下 4000 米运行的渔业监测摄像系统。现在也已开发出 360 度全景摄像机，可监测平面上方（或下方）全景，并且软件在捕捉图像后可执行聚焦和缩放功能。这些新系统可以在一定条件下减少需要的摄像机数量，让观察者通过虚拟现实体验探索船舶活动。高光谱摄像机不仅能够捕捉可见光谱，还可以持续捕捉整个电磁波谱上的输入。高光谱摄像机目前已用于食品和制造业（例如，检测新鲜食品中的腐烂食品）（Elmasry 等，2012 年；Xu 和 Sun，2017 年），但它们目前尚未在海洋领域充分发挥潜力。然而，研究人员近期一直在探索使用高光谱成像技术来根据鱼类的电磁特征来识别鱼种（私人通信，S. Romain）。



⁹ <https://www.snapit.group/>



声学传感器

平均而言，海水的透明度是大气的 10 万亿倍（Leape 等，2020 年），因此，摄像机适合水面以上作业，而声学传感器则在探索海洋深处方面具有更大前景。目前已开发越来越多的声学工具用于各种新用途，同时现有工具也在不断改进（Baumgartner 等，2018 年）。这些声学工具包括跟踪船舶和潜水员的长基线定位系统，记录海洋声景的声频信号陷波器，测绘平台下方海洋情形的回声测深仪，帮助渔民定位鱼群的侧扫声呐，以及测量水流速度和方向的声学多普勒流速剖面仪。声学工具在海洋领域应用广泛，包括估算鱼类种群丰度，评估鱼类和哺乳动物物种的行为和分布情况，利用声学技术标记和跟踪濒危物种，以及使用远程低频声学测温法通过测量极地浮冰厚度以及冰盖稳定性来评估全球变暖的程度（Howe 等，2019 年）。

生化传感器

在海洋领域具有应用潜力的生化传感器种类越来越多，这主要得益于医疗和制药行业的技术转让。光谱流式细胞术¹⁰等光谱技术（例如 Cabernard 等，2018 年；Schymanski 等，2018 年）具有改变海洋观测和管理方式的巨大潜力。生化传感器和相关仪表取得的进步对于识别水样中的微塑料或有害藻类等物体至关重要。这些技术的进步正在转换为更快、更便捷的分析工具，让更多用户能够监测污染和水质。生化传感器可以记录气候变化的关键指标，例如二氧化碳浓度水平、水的 pH 值和甲烷浓度，并协助科学家研究海洋生物对气候压力（例如，海洋持续酸化）的反应（Stillman 和 Paganini，2015 年）。随着这些传感器变得更加精确、可靠、小巧和便宜，它们的应用也越来越广泛（McPartlin 等，2016 年）。以前，只有资金充足的科研项目才能收集关于叶绿素、盐度、水深、洋流、浊度、氧饱和度和其他海洋学变量的数据。现在，海洋传感器的成本足够低，尺寸足够小，可在小规模渔船上搭载公民科学家手动的仪表

¹⁰ <https://www.thermofisher.com/ca/en/home/life-science/cell-analysis/flow-cytometry/flow-cytometry-learning-center/flow-cytometry-resource-library/flow-cytometry-methods/spectral-flow-cytometry-fundamentals.html>

或廉价传感器阵列。

雷达

真实孔径机载侧视雷达（SLAR）在数十年前便已用于观测海冰漂移和检测石油泄漏¹¹。在过去十年里，合成孔径雷达（SAR；SLAR 的一个子集）技术取得了重大进展。合成孔径雷达发射雷达脉冲，并检测从目标物体（例如，海面）反射回来的信号，以创建可供分析的二维图像。目前，合成孔径雷达图像的分辨率已经非常高，我们可以通过分析激光探测尾流产生的微波检测海面或接近洋面的鱼群（Klemas，2013 年）。合成孔径雷达与可见光摄像机一样不受云层或恶劣天气的影响，因此是全天候渔业监测的关键。目前，这些传感器的尺寸小、能效高，能够搭载在无人机和微型卫星上，它们毫无疑问将在未来海洋监测领域发挥重要作用。

激光雷达 (LiDAR)

雷达利用目标物体反射的无线电波，激光雷达（LiDAR）的原理与之类似，但利用的是激光。目前，激光雷达是研究人员用于海地测绘的主要地理空间数据来源。辐射测量激光雷达系统操作简单、成本低、尺寸小、能耗低，因此可以搭载在小型飞行器和无人机上（Santos，2000 年）。激光雷达是船载声波导航和测距（SoNAR）系统的一种更具成本效益的替代技术，可用于测绘和监测浅水区珊瑚礁生态系统（Costa 等，2009 年）。与合成孔径雷达一样，激光雷达在划定合适渔场范围方面具有巨大潜力，尤其是激光雷达尺寸非常小，可搭载在无人水面艇或自主水下航行器（AUV）等机器上，因此对于资源开发具有重要意义。



¹¹ <https://www.ioscproceedings.org/doi/abs/10.7901/2169-3358-1983-1-349>

2.2 卫星遥感

随着传感器的尺寸、成本和能耗降低，它们愈发适合搭载在各种平台上以实现更广泛的应用，尤其是对这些因素非常敏感的卫星。卫星技术推动了一场遥感革命，从主要为大国政府机构推动的实验性任务转变为支持更广泛用户和需求的小型灵活项目（Leape 等，2020 年）。随着卫星小型化技术取得显著进展，各国开始越来越频繁地向太空发射小型卫星：2006 年至 2015 年发射的小型卫星数量不到 1,000 颗，但据分析人员预测，2018 年至 2027 年将发射 7,000 颗小型卫星¹²，其中 82% 的小型卫星由美国太空探索技术公司（SpaceX）和亚马逊等大型公司发射的卫星星座群，这些卫星将用于多种用途，包括扩展天基宽带互联网和改进地球成像技术。

卫星容量的增加扩大了迅速改进的传感器的覆盖范围和间隔，这类传感器包括合成孔径雷达、昼夜光带（DNB）等光敏传感器¹³和可见光红外成像辐射仪套件（VIIRS）¹⁴。目前我们可以在地球表面上方 800 公里处检测到一盏路灯发出的光线，而且，我们可以在夜间和恶劣天气下追踪小型非法捕捞渔船。以前只有大型政府机构才能够使用装备合成孔径雷达的小型卫星，而现在这类卫星的应用越来越普遍，对海洋监测具有重要意义。卡佩拉太空公司（Capella Space）¹⁵和 IceEye¹⁶这两家公司都发射小型合成孔径雷达卫星星座群。卡佩拉计划在 2022 年前构建一个可运营的卫星网络，并计划发射 36 颗卫星，这意味着卡佩拉的客户可以“按需”订购特定目标的卫星影像。这些卫星影像至少每小时更新一次，在 5 公里乘 5 公里的覆盖面积范围内，分辨率达到惊人的 20 英寸¹⁷。IceEye 则计划构建一个由 18 颗卫星组成的具有类似功能的卫星星座群。卡佩拉的服务模型的主要用于支持国防和情报服务¹⁸，而 IceEye 则专注于协助监测非法捕捞渔船、识别人口贩卖活动和其他侵权行为¹⁸。

¹² https://euroconsult-ec.com/6_August_2018

¹³ <https://earthdata.nasa.gov/worldview/worldview-image-archive/the-day-night-band-enhanced-near-constant-contrast-of-viirs>

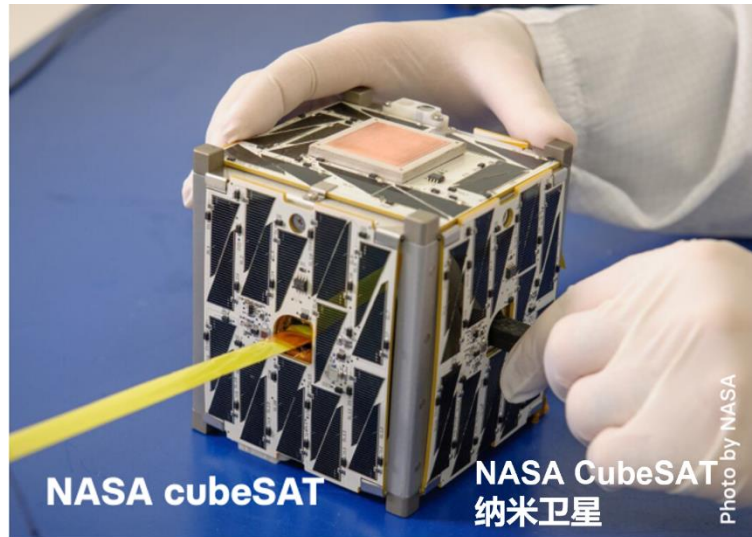
¹⁴ <https://viirsland.gsfc.nasa.gov/Products/NASA/BlackMarble.html>

¹⁵ <https://www.capellaspace.com/>

¹⁶ <https://www.iceye.com/satellite-missions>

¹⁷ <https://news.mongabay.com/2019/08/no-place-to-hide-for-illegal-fishing-fleets-as-surveillance-satellites-prepare-for-lift-off/>

¹⁸ <https://www.bbc.com/news/science-environment-51296585>



2.3 数据采集平台

与卫星技术进步相呼应的是，小型化、降低能耗、以及最重要的能源采集领域的进展大幅促进了半自主无人机和浮标等海洋数据采集平台的改进。除了降低能耗之外，捕获太阳能和波浪能（甚至包括利用海底碎屑的自然氧化过程获取等量的微生物燃料电池；Reimers和Wolf（2018年）），然后将这些能量存储在先进的电池系统（例如，使用海水的铝电池系统）中，以备将来使用（Tian等，2021年）的能力推动了数据平台的设计和革命。随着数据传输技术得到改进（包括声频调制解调器的更广泛应用；Sendra等，2015年），数据采集平台之间的关联越来越紧密。数据处理能力的提高意味着具有分布式智能的平台“集群”在很大程度上将成为海底观测和监测系统的主导范式。而且越来越多的数据采集平台不再需要人工控制。通常而言，程序员会设定半自主无人机的任务程序，使其遵循特定轨道或寻找特定对象，并收集各类的信息，之后它便可以自主执行这些任务。无人机可搭载多个传感器、处理器和数据发送器，为科学家和管理者提供优质实时观测数据（Colefax等，2018年），包括标记遥测接收器和无源声学记录仪等声学技术。

空中无人机

帮助渔民定位鱼群的飞行器或气球等空中平台已有数十年的历史（Santos，2000年），但是，这些工具整体的部署和使用方式正在显著变化。空中无人机的成本持续下降，续航时间增加，海上发射和回收更加便利等诸多因素迅速扩大了无人飞行器（UAV；Colefax、Butcher和Kelaheer，2018年）的应用。在过去十年里，无人飞行器可搭载的紧凑型传感器的范围显著扩大，现在可搭载微光数码摄像机、热红外辐射计、激光雷达和合成孔径雷达（Harris等，2019年）。空中无人机的用途多种多样，但它们

在渔业监测、控制和监视（MCS）方面的应用潜力引起了政策制定者、环保主义者和研究人员的关注（Toonen 和 Bush，2020 年）。



水下无人机

水下无人机正在影响诸多海洋产业，包括扩大科研范围。水下无人机在探索海床，检查海底平台或管道方面发挥着重要作用，也为制药行业提供了新机会，使研究人员能够研究和采集可能对人类具有巨大价值的新标本（世界经济论坛，2017 年）。虽然许多无人机都是搭载在水面艇舰上，自主水下航行器（AUV）可以在无需人类操作员持续控制的情况下运行，可根据预编程序执行设定的水下任务，或者利用人工智能（AI）技术来自主决定路线和活动。大多数自主水下航行器的运行深度可达 200 米，甚至有一些可超过 5000 米。目前研究人员已采用续航时间约为 8 小时的自推进鱼型无人机搭配其他无人机来监测珊瑚礁健康状况（Pieterkosky 等，2017 年）。虽然 HabCam¹⁹和 Slocum 滑翔机等自主水下航行器的价格非常昂贵，但其他无人机，例如以消费者为中心的 Trident 无人机²⁰，的成本要低得多，并且更容易获取。

水面上无人机

水面上无人机（亦称无人水面艇；USV）在海洋与大气的交界面上运行，因此既能研究无人机下方的海洋环境（例如，海底和水体），又能探测上方大气环境。水面上无人机在水面运行，因此其数据传输速度和成本效率比水下无人机更快、更高，还可以持续利用太阳能。例如，Liquid Robotics 推出的波浪滑翔机²¹采用创新性两部分设计，一方面采用太阳能电池板为仪器供应电力，另一方面利用波浪动能作为推进力。波浪

¹⁹ <https://habcamvm.who.edu/about/>

²⁰ <https://www.sofaroccean.com/products/trident>

²¹ <https://www.liquid-robotics.com>

滑翔机等水面无人机可以搭载一系列传感器和其他数据采集仪器，并且可以主动采集和传输（通过卫星、蜂窝网络或宽带）实时数据，理想条件下的续航时间长达一年。无人水面艇在降低海洋数据采集成本和扩展声学渔业资源调查的空间和时间覆盖面方面具有巨大潜力（Greene 等，2014 年）。其他水面无人机包括 Datamaran²²和 Saildrone²³。目前，无人水面艇已经开始实现商用。例如，在南极水域捕捞磷虾的挪威阿克海洋生物公司（Aker BioMarine）²⁴使用 Sailbuoy²⁵来帮助渔船捕捞磷虾群²⁶。



浮标

使用浮标收集和传输海洋数据已有数十年历史。浮标的设计和部署方式在近期发生的变化对海洋管理具有巨大影响。现在的“智能”浮标上装备了先进的计算机、摄像机、海洋传感器、数据记录仪和卫星传输系统，并且可以在接到通知后立即执行新的数据任务。目前，浮标可以使用太阳能电池板实现自供电，并且可以长时间漂浮在海面（Henriques 等，2016 年）。现在各种各样的组织都可以部署低成本浮标，因此它们分布广泛，是监测气候变化影响的重要工具（Vitale 等，2018 年）。例如，Sofar Ocean 的 Spotter²⁷浮标利用太阳能供电，可将实时波浪、风力和温度数据传输至基于云技术的门户，从而使用户能够轻松访问全球 Spotter 浮标网络的信息，同时 Spotter 的“仪表盘”也可简化数据分析和可视化。浮标还装备了回声探测仪，可以帮助渔民确定人工集鱼

²² <http://www.automarinesys.com/>

²³ <https://www.saildrone.com>

²⁴ <https://www.akerbiomarine.com/>

²⁵ <http://www.sailbuoy.no/>

²⁶ <https://thefishsite.com/articles/small-drone-set-to-deliver-big-data-on-antarctic-krill>

²⁷ <https://www.sofaroccean.com/products/spotter>

装置（FAD）²⁸下方的鱼类种类组成。目前部署的浮标属于互联装置和传感器网络的一部分，可用于解决更大的挑战，例如通过监测非法捕捞渔船来打击 IUU 捕捞行为（Ng 等，2020 年）。例如，美国国防高级研究计划局（DARPA）的“海上物联网（OoT）”计划²⁹将部署数千个漂流浮标，以收集海洋和其他传感器信息——包括船舶、航空器甚至海洋哺乳动物的活动数据——然后利用卫星将数据传输到云端。

海洋动物

一个比较小但是非常有潜力的重要的创新领域——它是在海洋动物身上装备小型导电率-温度-深度卫星中继记录仪（CTD-SRL）来自动采集数据，并利用卫星将数据传输至服务器（Treasure 等，2017 年）。已有研究人员在信天翁背上装备小型雷达探测器。它们的探测范围要远远大于无人机，可协助监测非法捕捞行为³⁰。

渔船及渔具

渔民的追捕和捕捞技术已实现大幅改进，现代渔船的驾驶室已经与泰坦尼克号截然不同，更像是宇宙飞船的驾驶室。越来越多的船舶已装备先进的声呐设备，可以协助绘制高分辨率的海底地图，并且装备了海洋传感器，可扩展现有的海洋观测数据网络。一些倡议侧重于在渔船及其渔具上安装传感器，以协助采集海洋数据。例如，在美国东北部推行的 eMOLT³¹计划为龙虾捕捞陷阱装备海洋传感器，并将收集到的数据与渔民和科学家共享，帮助渔民了解海底条件与龙虾渔获量之间的关系。

2.4 智能手机

目前，全球智能手机用户已经达 35 亿，这意味着全球近一半人口在指尖便可访问便携式个人计算机。智能手机配备 GPS 传感器和蓝牙连接，可作为广泛变量数据的分析、存储和传输设备。例如，研究人员在智能手机上集成了用于检测海洋毒素的生化传感器（Su 等，2017 年），以便于在现场使用。此外，用于渔业监测和管理的智能手机应用程序也在激增（请参阅第 3.1.3 节）。对于未来海洋渔业管理而言，智能手机的最重要的特征是可以进行双向数据传输，这将为管理者实时控制渔业活动（尤其是小规模渔业）开拓广阔前景（Bradley 等，2019 年）。

²⁸ <https://satlink.es/en/>

²⁹ <https://oceanofthings.darpa.mil/>

³⁰ <https://www.bbc.com/future/article/20200708-the-albatrosses-who-catch-pirates-on-the-high-seas>

³¹ <https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/low-cost-technology-helps-connect-fishermen-and-students-science>



2.5 公民科学家

数字革命正在引起大规模社会变革。得益于智能手机、互联网和云端数据迅速存取等技术，现在普通民众也可采集和分析各种类型的数据。公民科学家是一个令人难以置信的强大科学发现和贡献来源，吸引了越来越多人的关注，并且研究人员正在开发相关工具来探索这一潜力。例如，开发人员目前正在设计智能手机应用程序，允许公众通过提交可用于更新物种分布地图的照片或其他数据来参与科学活动（Silverman, 2016 年；Leape 等，2020 年）。目前也有一些智能手机应用程序可协助追踪污染物和改进洪水预报（Leape 等，2020 年），以及跟踪爬行动物的分布变化³²。MERMAID³³是一个在线 - 离线云平台，科学家可在这个平台上分享和分析珊瑚礁调查结果，平台目前已有 570 个注册用户³⁴。

2.6 数据连通性

第五代移动通信技术（5G）正在全速发展。4G 技术已实现前所未有的覆盖范围和速度，将人与人、人与互联网力量连接起来，5G 技术则能够将万物连接起来，推动前所未有的大规模社会变革，深刻影响全球的每一个行业³⁵。这就是物联网（IoT）的未来，即设备之间自动传输数据，自动和动态执行功能，无需人工干预。如上文所述，美国国防高级研究计划局（DARPA）目前正在开发的海上物联网（OoT）³⁶计划预示

³² <https://www.herpMapper.org/>

³³ <https://datamermaid.org/>

³⁴ <https://www.newswise.com/articles/new-tech-lets-marine-scientists-track-real-time-health-of-coral-reefs-around-the-world>

³⁵ <https://www.weforum.org/agenda/2018/01/the-world-is-about-to-become-even-more-interconnected-here-s-how/>

³⁶ <https://www.darpa.mil/program/ocean-of-things>

着海洋资源使用者的未来。然而，为了实现这一未来，我们需要增加数十亿个新连接，包括依赖蓝牙和近场通信（NFC）等近程终端直通技术实现的连接，WiFi 和蜂窝网络技术实现的中程连接，以及卫星通信等远程通信技术。物联网还将推动数据架构设计的根本性转变（Leape 等，2020 年）。传感器将更加智能，无需连接网络便可执行计算任务，而且 workflow 和过程由分布式智能驱动，自动化程度越来越高。

快如闪电的 5G 蜂窝网络必将成为数字化未来的核心组成部分（据估算，到 2035 年，5G 将在全球创造 12 万亿美元的经济产出）³⁵，但是，与 4G 网络相比，5G 的覆盖范围有限，这是海洋领域的一个重要考量因素。4G 信号塔的覆盖范围可达 1 万米，5G 基站则不到 1 千米³⁷。尽管未来我们预计将在沿海地区为海上用户修建更多蜂窝网络基础设施，并且可能将互联网网状网络向海洋扩展，5G 技术对海洋产业的直接影响有限。但这并不会削弱即将发生的整体连通性的变革规模。遍布全球海洋的 750,000 英里海底光缆正在将世界连接起来，而且各国仍在继续铺设新光缆³⁸。卫星通信正在发生飞跃性变化，目前正在向小型卫星演进，这些卫星的成本更低、发射过程简单，可以提供数千个新平台以方便数据连接，而且其中大部分卫星容量将应用于海洋领域。据预计，2018 年至 2027 年将发射 7,000 多颗小型卫星（2006 年至 2015 年期间不到 1000 颗），而这只是蓬勃发展的全球航天产业的一个方面。到 2040 年，全球航天产业收入将达到 1.1 万亿美元，其中近 40% 与互联网服务有关³⁹。虽然大部分基础设施都支持高带宽通信，但 Swarm 等低带宽、低成本通信技术也可以支持地球上任何地点的文本信息传输，这类通信技术的增长也具有加强海洋领域连通性的巨大潜力，尤其是对于小规模渔民而言。

为了填补通信缺口，目前已在利用互联网网状网络为偏远地区提供互联网连接方面取得了诸多进展。互联网网状网络利用额外的接收器和中继发射器将源信号传播至更广泛地区。在陆地上，Vanu⁴⁰ 等公司积极创新，力求为世界各地的农村社区提供网络连接，并着重强调低能耗和灵活连接。在海洋上，由船舶和基站组成并且使用商用设备的网状网络⁴¹ 原型已经过测试⁴²，声学解调器在连接浮标群或其他平台群方面拥有巨大潜力，也许可以构成协调网络组，目前已有一些系统正在接受测试（Leape 等，2020 年）。

重要的是，改进移动通信可能对发展中国家产生（有利）差别性影响，因为，与

³⁷ <https://www.businessinsider.com/5g-high-speed-internet-cellular-network-issues-switch-2019-4>

³⁸ <https://www.nytimes.com/interactive/2019/03/10/technology/internet-cables-oceans.html>

³⁹ <https://www.seattlebusinessmag.com/technology/boeing-back-race-build-space-based-internet>

⁴⁰ <http://www.vanu.com/solutions/rural/>

⁴¹ https://www.researchgate.net/publication/283864896_Wi-Fi_network_for_over-the-sea_communication

⁴² <http://www.globalmarinenet.com/product/redport-halo-long-range-wifi-extender-system/>

发达国家相比，发展中国家似乎能够从这些技术进步中受益更多⁴³。无论数字革命将我们带向何处，数据连通性进步都是数字革命的基石之一，所有其他领域都必须与其步伐一致。

2.7 人工智能

人工智能发展不仅将深刻影响我们分析海洋数据的方式，还将深刻影响我们采集数据的方式。机器学习技术持续改进，应用场景不断扩大。传统机器学习算法的核心基本架构仍然非常简单，训练过程需要专业人员提供大量专业知识，并进行频繁干预来纠正错误⁴⁴，但是新应用和专门架构的数量正在呈指数级增长。深度学习（DL）是一种新算法，利用神经网络来学习手头的任务。神经网络将任务分解为一个概念层次结构，从简单概念开始，逐渐增加概念的复杂性。目前，计算机视觉由深度学习卷积神经网络（CNN）支持，在许多情况下，能够比人类更准确地识别模式或对象，例如，分析 CT 图像⁴⁵。计算机视觉是建造与人类一样智能的机器的关键技术，而人工智能和机器学习对于处理收集到的海量数据至关重要（Leape 等，2020 年）。在海洋领域，人工智能主要在两个领域备受关注：其一是分析图像（通常是摄像机图像，但也包括声谱图）以检测和识别物体或模式，其二是大数据分析工具，通过检查大量杂乱无章的数据集来梳理当前理论或统计模型尚未确定的变量间关系。

机器视觉可利用视频数据有效生成批量管理和执法数据，因此在基于摄像机的电子渔业监测领域具有重要应用潜力。渔船电子监控系统未来必然能够自动生成可直接用于管理的关于渔获量和捕捞努力量的数据（不仅仅是视频数据），并将这些数据近乎实时地传输给管理者，这只是时间问题。机器视觉在海洋领域还有其他更广泛的用途，包括“无伤亡”渔业资源评估（使用海底鱼类种群视频进行评估，而不是将鱼类种群捕捞到渔船上进行评估），栖息地调查以及驾驶无人机侦查保护区。

人工智能和机器学习使我们能够分析复杂的系统和大型、多元数据集，尤其是在相关理论尚不完善的情况下。人工智能技术在海洋领域的近期应用示例包括改进天气预报（时间范围从 2 周到 2 个月）⁴⁶，针对海洋生态系统遭受的气候相关影响的早期预警，确定人类活动对复杂海洋生态系统的影响，处理“暗数据”（包括互联网中的表格、

⁴³ <https://www.weforum.org/agenda/2018/01/the-world-is-about-to-become-even-more-interconnected-here-s-how/>

⁴⁴ <https://www.weforum.org/agenda/2018/01/the-world-is-about-to-become-even-more-interconnected-here-s-how/>

⁴⁵ <https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/06/26/the-present-and-future-of-computer-vision/#51fa0dd3517d>

⁴⁶ <https://cleantechnica.com/2020/01/25/birds-oceans-wildfires-oh-my-how-machine-learning-is-changing-climate-research/>

数据和文本），以渗透贩卖野生动物的有组织犯罪团伙（世界经济论坛，2017年）。目前机器学习已被用于缩短一些渔业搜索目标鱼种的时间，可节省燃料、时间和资金。虽然海洋领域的许多公司都在使用先进分析方法（收集、处理和解释大数据的先进方法），这些方法在渔业中的应用通常仅限于小规模试点项目。但是，据一些分析师估算，如果大型渔业公司采用人工智能工具和技术来释放潜在价值，它们每年可节约 110 亿美元的运营成本，进而降低价格，惠及消费者（Christiani 等，2019年）。

人工智能是边缘计算的重要推动因素。在边缘计算架构中，物理机器中的软件能够在原位或者在“边缘”收集、处理和分析数据⁴⁷。边缘计算是构建分相互关联的布式智能机器网络的关键。如果将这些网络连接至其他网络（例如，互联网），它们将发挥巨大潜力。在探索这些巨大潜力时，必须注意：了解深度学习网络如何识别关系是一个几乎不可能完成的任务，如果没有一个理论模型来指导分析师，这些模型可能将进一步传播现有的偏见、不平等和歧视，因为这些模型的结果全然取决于输入的数据（Leape 等，2020年）。

2.8 数据系统和云

到 2025 年，全球数据总量预计将达到 175 泽字节⁴⁸，海洋领域收集的数据量也将呈指数级增长。导致数据量加速膨胀的主要原因是一场不断自我强化的大数据革命，即为了以可管理的方式处理、分析和可视化大量数据需要的技术反过来推动数据种类和衍生产品的“爆炸式增长”（Runting 等，2020年）。传统上，大规模数据集往往由政府机构、公司和科研人员采集，并由这些实体存储，形成了一个“巨石”过程，这就导致即便获得了共享数据的许可，访问和使用这些数据的交易费用也不可忽视（Leape 等，2020年）。“大数据革命”涉及数据系统组织方式的根本变化，未来将使更多人（包括科研人员）轻松访问所有类型的数据集。新型数据系统的一个特点是“数据湖”，本质上是构建一个数据网络，供用户“转储”大量数据，这些数据不一定符合公认的数据“组织模式”或数据标记标准。数据湖在用户不需要持续控制其数据以及关于数据隐私的担忧程度较低的情况下尤为适用，海洋数据符合这些特点（Stein 和 Morrison，2014年）。例如，美国地质调查局（USGS）和美国国家海洋和大气管理局（NOAA）近期开始使用数据湖技术，目的是扩大用户基础，通过新方式利用信息创造价值。联合国教科文组织（UNESCO）的全球海洋观测系统⁴⁹和第四次海洋工业革命中心的海洋数据平台⁵⁰

⁴⁷ <https://www.kdnuggets.com/2018/11/trends-computer-vision-technology-applications.html>

⁴⁸ <https://www.bernardmarr.com/default.asp?contentID=1846>

⁴⁹ <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/ioc-oceans/sections-and-programmes/ocean-observations-services/global-ocean-observing-system/>

⁵⁰ <https://www.oceandata.earth/>

等一些倡议也正在力图构建这类新兴数字海洋生态系统。

云计算也许是最具变革性的数据管理工具，使用户可以按需通过网络访问共享计算资源池，包括存储、分析工具和软件，包括人工智能（Vance 等，2019 年）。随着数据连通性的提升，云计算使所有可以连接至互联网的用户都能使用超级计算机的强大功能。云服务器非常耗电；大多数服务器农场都位于电价较为便宜的地区。目前研究人员正在开发新的方法来解决云服务器的能耗问题。例如，Natick 项目⁵¹将一组服务器沉入苏格兰海岸附近的海底，以测试这些系统在水下是否能够正常运行。这个试验项目的成功为进一步利用海洋的自然冷却功能和潜在可再生能源发电能力打开了大门⁵²。

2.9 渔具改造

在传统上，在设计鱼类和海产品捕捞工具时，效率是首要考虑因素——确保尽可能捕捞更多目标鱼种。然而，更严格的兼捕和尺寸限制法规也在日益激励“健康”捕捞。此外，人们担心特定类型的渔具造成生境破坏，鲸鱼被渔具缠绕的情况以及“幽灵”捕捞现象（废弃渔具在失去控制后的很长时间里仍然继续诱捕海洋生物），这也推动了改进各类渔具设计的行动。

在过去，拖网捕捞渔具被视为一种捕捞海洋生物质的无差别捕捞工具，尤其是底层拖网会严重破坏海洋生态系统。近期，多个旨在提高渔具选择性的具有前景的研究领域备受关注。冰岛海洋研究所的 Einar Hreinsson 提议使用激光引诱鱼群入网⁵³，而不是用拖网对海底进行扫荡。不同鱼类种群会对不同波长的激光做出反应，这可能提高捕捞的选择性⁵⁴。新西兰采用一种被称为“Tiaki”⁵⁵的新型捕捞方法，使用由半刚性结构组成的“活”网囊，确保将渔获物拉上渔船时，渔获物仍然浸没在水中，仍然具有活力，从而提高丢弃渔获物的存活率和产品质量。世界自然基金会（WWF）举办的国际智能渔具设计大赛之前曾向最有希望减少兼捕的渔具设计颁发 30,000 美元的大奖。最新获奖设计（上一次颁奖时间为 2014 年）是用于围网渔业的空气炮发射采样装置。该装置可对围网捕捞渔获物质量和体长组成进行采样，确保提高潜在兼捕渔获物的存活率⁵⁶。延绳钓渔业采用的颗粒状诱饵插入装置可以在吸引目标鱼种的同时驱赶鲨鱼，而在拖网上为特定鱼种设计的逃生板也具有发展前景。与传统渔具相比，利用新数字技术来

⁵¹ <https://natick.research.microsoft.com/>

⁵² <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-02-02/microsoft-built-a-cloud-server-in-the-pacific-ocean-to-save-water-and-energy>

⁵³ <https://archimer.ifremer.fr/doc/00585/69713/67603.pdf>

⁵⁴ <https://medium.com/datadriveninvestor/could-lasers-and-robots-save-the-oceans-f752d43ce61a/>

⁵⁵ <http://www.tiaki.com/>

⁵⁶ <https://www.worldwildlife.org/press-releases/lasers-escape-windows-and-air-cannons-among-innovative-ideas-in-competition-to-reduce-fisheries-bycatch/>

提高选择性和效率，并减少环境影响的渔具在未来渔业管理中发挥着重要作用。



2.10 生物技术

生物技术的进步可减少人类活动对环境产生的影响。例如，到本世纪末，大多数水产饲料将不再使用饵料鱼，饲料公司将使用甲烷氧化菌⁵⁷、昆虫⁵⁸、海藻⁵⁹和其他原料来生产高蛋白饲料（世界经济论坛，2017年）。与天然物种相比，转基因鱼的生存能力更强，可以适应更恶劣的环境，并且可以更高效地将饲料转化为肌肉，从而减少生产产品需要的饲料量。这些影响可能提高我们利用海洋生产食物的能力。

除了改进鱼类在海洋中的生长方式之外，我们对食物生产的看法也在发生了整体性变化。运用细胞农业技术生产的养殖鱼肉正在经历快速转型，这可能会对当前以动物为基础的食物系统造成颠覆性影响。养殖鱼肉是利用组织工程学技术生产可食用的鱼肉（Kadim 等，2015年；Stephens 等，2018年）。21世纪初，纽约的多位研究人员确定了体外肌肉蛋白生产系统的可行性，目的是为前往火星的太空旅行者提供营养，这是在实验室中培育鱼肉的最早尝试之一（Benjaminson 等，2002年）。研究人员使用胎牛血清（FBS）作为肌肉生长所需营养溶液的组成成分来培育鲫鱼（常见金鱼）鱼肉。2013年，Mark Post 博士推出第一个用实验室培育牛肉制作的汉堡，向世界证明了实验室培育牛肉的可行性⁶⁰。这标志着使用细胞农业技术培育肉制品技术发展浪潮的开始。2015年，Modern Meadow⁶¹生产了人造牛排片，尽管它现在已专注于生产实验室

⁵⁷ <https://www.calysta.com/>

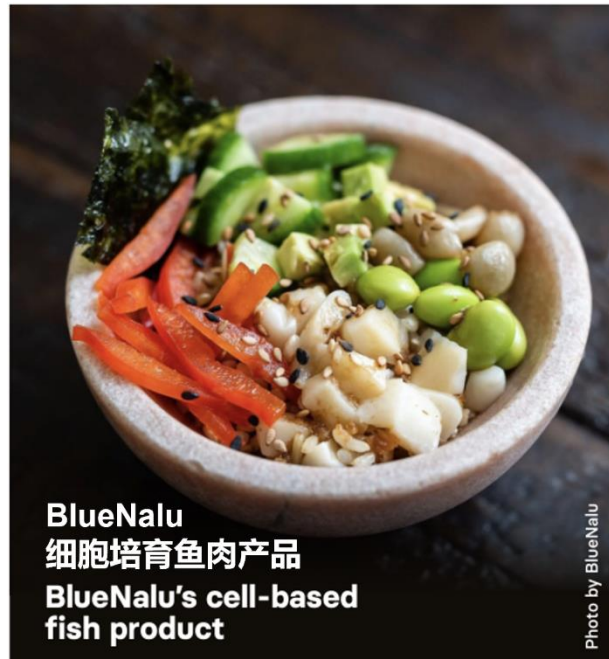
⁵⁸ <https://www.hatcheryinternational.com/partnership-brings-sustainable-insect-based-protein-to-aquaculture-feed-3556/>

⁵⁹ <https://www.globalgae.com/>

⁶⁰ <https://www.theguardian.com/lifeandstyle/2017/sep/20/lab-grown-meat-fish-feed-the-world-frankenmeat-startups>

⁶¹ <http://www.modernmeadow.com/>

培育皮革，2016 年，Memphis Meats⁶²用实验室培育牛肉制作了牛肉丸。之后在 2017 年推出了实验室培育炸鸡和法式香橙脆皮鸭胸。直到 2015 年仍未出现专注于实验室培育海产品的公司。在那之后，包括 Finless Foods⁶³、Blue Nalu⁶⁴和 Seafuture⁶⁵在内的几家公司相继成立。在不远的将来，消费者将能够在野生、养殖和实验室培育鱼肉之间进行选择，这对所有依赖海洋生存的人们来说意义重大，但具体影响尚不明确。



⁶² <http://www.memphismeats.com/>

⁶³ <https://finlessfoods.com/>

⁶⁴ <https://www.bluenalu.com/>

⁶⁵ <http://seafuturebio.com/>



3. 水上活动

第2节中描述的各类技术（以及其他许多技术）正在被一系列个人和组织应用于应对各个经济领域面对的广泛全球海洋挑战。本节将概述这些活动，并着重强调与海洋渔业管理直接或间接的相关挑战。这些活动包括在水上安装摄像机或其他传感器等技术装置来采集数据，以及利用卫星监控非法捕捞行为的区域性活动，简化和现代化数据管理系统的全球性活动。本节介绍了众多应用和具体项目，而水上活动生态体系仍在不断发展，本报告无法囊括所有相关水上活动。我们的目标是借用具体活动来阐明这一实践生态体系的性质和范围。本报告中提及任何商业产品并不代表其得到我们的认可。

本报告确定了作为本节焦点的六组挑战，以及渔业如何应用各种技术来应对这些挑战。这六组挑战是：渔获量和捕捞努力量核算、渔业合规监测、种群丰度和生产力估算、提升供应链透明度、生态系统健康状况监测、通过数据集成和管理创造价值。

3.1 渔获量和捕捞努力量核算

全球大部分渔业收集的渔获数据可靠性不足，无法支持准确的渔获量核算，或者数据详细程度不足，无法支持决策。渔获数据是渔业管理的基本要素——是种群资源评估和生态系统评价，以及实施各类管理工具（例如，个体捕捞配额和总允许渔获量）的必要要素。渔获量和渔获物组成数据对于准确的渔获量核算必不可少。渔获记录还应包括时间和位置数据，并且在理想情况下与捕捞努力量的测量值挂钩。渔获量和捕捞努力量数据通常是在渔船上或者在交付点收集的，并且通常采用纸质报告方法，例

如渔民日志或观察员/监察员记录。这些方法存在的主要问题是，如果管理体系不够先进，日志等自行报告数据可能存在虚假记载；如果未能及时将纸质数据转换为可使用的数字格式，纸质数据采集方法可能产生信息“孤岛”。而雇佣人力来收集渔获信息往往会极大限制监控工作。数字技术正在帮助我们解决所有这些问题。

3.1.1 电子监控

在世界各地，许多渔业都已安装基于摄像机的电子监控（EM）系统。这类系统已有超过 20 年的历史，主要应用于图像处理要求相对简单的渔业，例如，在目标是监控渔获物全部保留（海上零丢弃）或者监控渔具是否捕捞受保护鱼种的情况下（Fujita 等，2018 年）。电子监控技术近期在多个方面取得了进展，使其可以广泛应用于监控目标更复杂的渔业和计划（Michelin 等，2018 年）。例如，摄像机的性能更可靠、清晰度更高，更不易出现湿气凝结和其他图像质量问题。硬盘驱动器容量有所增加，物理尺寸持续缩小。整体而言，设备的成本都在逐渐下降。整合传感器输出与 GPS 数据的软件解决方案正在缩短数据处理时间，同时提高数据精度。加深渔民对其责任的认识，促进渔民与管理机构之间的更有效互动。



电子监控系统正在迅速改进，最终将仅需极少人力投入，并且可以提供高质量、完整的近实时数据，可直接用于渔业管理过程。为实现这一目标，必须在集成电子监控和报告系统中自动化数据采集、传输和处理等各个环节，同时配置人工智能赋能系统在“边缘”运行。尽管在整合电子监控和电子报告方面正在取得快速进展，目前在以下三个重要领域，人力投入仍然必不可少：生成主要数据记录、视频审查和数据传输。

主要数据记录

第一个领域与以下观念有关：渔民输入的数据（例如，捕捞的渔获物重量、丢弃的鱼种数量、收网时间和地点）将生成主要数据记录，电子监控数据则将用于审查渔民输入的数据。在未来，所有电子监控系统都将足够先进和可靠，可以提供主要数据记录，从而减轻渔民记录管理数据的责任。

视频审查

第二个领域是，由数据审查员人工审查摄像机图像，以估算渔获量、渔获物组成和体长组成。人工智能和机器学习领域的最新进展推动了自动图像识别和处理方法的迅速改进，从而减少了对人力投入的需求。这些技术也被应用于其他经济领域，协助推动各个经济领域的快速发展，例如自动驾驶汽车和家庭监护系统领域。图像识别算法开源竞赛（例如，“n+1 fish, n+2 fish”⁶⁶ 竞赛或渔业黑客松⁶⁷）为获奖者提供可观金钱奖励，鼓励他们开发相关软件，这也鼓励了这项技术的开发。大自然保护协会（TNC）的 fish.ai⁶⁸等倡议则使用户能够免费访问庞大的标记图像库，为开发提供必要的数据。为满足日益增长的电子监控需求，规模较小但不断增长的私营电子监控行业也正在实现积极进步，例如 SnapIT 正在开发和制造用于渔业监测的定制摄像机系统、Integrated Monitoring⁶⁹和 Satlink⁷⁰开创监测数据卫星传输，新英格兰渔业监测⁷¹致力于运用人工智能技术改进视频审查的工作流程。

由政府支持的电子监控研发工作是关键。例如，美国国家鱼类和野生动物基金会（NFWF）的电子监控和报告赠款计划⁷²等外部赠款计划对电子监控创新项目⁷³等国家项目做出补充。电子监控创新项目是 NOAA 阿拉斯加渔业科学中心（AFSC）和华盛顿大学（UW）的合作项目。在这个项目中，阿拉斯加渔业科学中心的研究人员与渔民合作设计实体基础设施（例如，将渔获物汇集至摄像机视野内的滑槽），并制定渔获物处理协议，以便为视频审查提供标准化原始数据流。然后使用由华盛顿大学电气工程和计算机科学系开发的基于人工智能的视频识别软件来分析这些标准化视频数据流⁷⁴。这一领域的最新进展包括自动收集渔获物的准确（绝对误差<2%）体长组成数据，在二维图像中，鱼体通常是弯曲的，因此这项任务非常复杂。这一研究领域对于简化未

⁶⁶ <https://www.drivendata.org/competitions/48/identify-fish-challenge/>

⁶⁷ <https://fishackathon.co/>

⁶⁸ <http://fishnet.ai/>

⁶⁹ <https://integratedmonitoring.net/>

⁷⁰ <https://www.satlink.com/es/en>

⁷¹ <https://www.nemarinemonitoring.com/>

⁷² <https://www.nfwf.org/programs/fisheries-innovation-fund/electronic-monitoring-and-reporting-grant-program-2020-request>

⁷³ <https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/developing-machine-vision-collect-more-timely-fisheries-data>

⁷⁴ <https://people.ece.uw.edu/hwang/>

来电子监控系统的渔获物处理协议具有重要意义。

为了生成自动导出的体长和鱼类种类组成数据，未来必须加大渔获物处理过程和算法开发力度，这项技术还需几年时间才能发展成熟。尽管在过去几十年里，研究人员以自动化鱼种识别为课题开展了大量研究，但目前尚无监管机构在渔业中实际部署此类技术的公开示例（Bradley 等，2019 年）。但是，目前我们已经能够利用视频数据自动识别不同类型的捕捞活动，例如抛弃渔获物（私人通信，Mark Hager）。这些进步有助于提高视频审查的效率（这是电子监控项目总成本的关键组成部分；Sylvia、Harte 和 Cusack（2016 年）），而且，由于位于“边缘”的图像捕捉软件可以自动解析相关视频片段，因此这些技术的进步也掌握着视频数据高效无线传输的关键。据我们所知，目前已有一种已经实施并且受到监管的电子监控视频审查自动动作识别协议（私人通信，Mark Hager），而 CVision AI⁷⁵和 Chordata⁷⁶等公司则正在推动其他渔业的发展。



数据传输

第三个领域是，目前电子监控数据的主要传输方式是手动将拆卸硬盘驱动器，并将其交付至渔业管理机构。随着数据连通性提高，这一步骤终将变得多余，这意味着近实时数据很快可以用于渔业管理，并馈入数字海洋数据生态系统（请参阅第 2.8 节）。许多渔船每次出海都会持续几个月，很难获得邮寄服务，因此无线传输电子监控数据是在全球所有工业渔业扩展电子监控应用的关键要素之一。无线数据传输还可以增强渔业管理迅速适应不断变化的条件的潜力（但是，这也需要管理结构足够灵活，以响应新的数据流），因此也对气候变化背景下的渔业管理具有重要意义。目前已有多个电子监控试点项目尝试使用蜂窝网络来传输视频数据（例如 Mortensen 等，2017 年；

⁷⁵ <http://cvisionai.com/>

⁷⁶ <https://pt.chrdata.com/em/>

Plet-Hansen、Bergsson 和 Ulrich, 2019 年), 尽管目前传输成本仍然相对较高, 但采用更强大的视频压缩技术和采用机器学习算法的视频解析技术有望大幅降低成本, 使项目具有可扩展性。在频繁的港口使用远程 WiFi 系统有望实现视频数据的高效无线传输; 目前已有一些试验项目正在推进中⁷⁷。小型卫星星座群的发射使得卫星传输能力呈指数级增长, 卫星传输电子监控数据成为常态的未来可能没有我们想象的那么遥远。

基于摄像机的电子监控目前主要应用于发达国家的中大规模商业渔业, 在小规模渔业中的应用屈指可数。Saltwater Inc.⁷⁸ 等公司已开发出可以利用太阳能或电池供电的小型基于摄像机的电子监控系统, 大自然保护协会的 FishFace⁷⁹ 项目旨在开发能够利用摄像机图像自动识别鱼类种类的算法, 从而使基于智能手机的电子监控系统能够应用于小规模渔业。然而, 在管理机构运作良好, 并且在渔业监测过程中存在对电子监控数据流需求的情况下, 电子监控系统才有意义。小规模渔业, 尤其是在发展中国家, 通常并没有适当的管理流程来使用电子监控数据。重点关注收集渔业信息之价值的机构能力建设将成为改进小规模渔业监测的多管齐下战略的重要组成部分。

对购置、维护和运行渔船监测系统 (VMS) 或自动识别系统 (AIS) 系统的资源和能力有限的小规模渔业, 目前已开发出量化和测绘捕捞努力量的替代方法。Selgrath、Gergel 和 Vincent (2017 年) 展示了如何利用参与式制图 (利用利益相关者的知识来绘制渔业资源和活动地图) 来表征捕捞努力量的空间和时间估算值。Johnson 等 (2017 年) 提出了一种估算小规模渔业捕捞努力量的空间方法, 这种方法基于两项相对容易获取的变量: 社区中的渔船数量以及当地沿海人口。他们的研究表明, 他们的方法可以准确预测墨西哥加利福尼亚湾的渔业上岸量。

3.1.2 电子报告

电子报告 (ER) 是指由渔民输入或者在渔船上自动收集渔获量和捕捞活动数据, 以数字形式传输给管理机构, 这种报告方式在工业化渔业和小规模渔业越来越普遍。尽管纸质日志仍然是常态, 但电子日志、智能手机应用程序、VMS 和 AIS 等电子报告技术有望减少转录错误, 并且能够使管理者迅速访问相关数据。例如, 目前中西部太平洋渔业委员会 (WCPFC) 成员国收集的所有观察员数据都以电子方式传输给管理者 (Bradley 等, 2019 年)。在墨西哥湾, 捕虾渔业从 2007 年开始利用电子日志来监测捕捞努力量, 并生成评估渔业资源所需的数据。这一领域的近期进展包括使用蜂窝网

⁷⁷ <https://www.snapit.group>

⁷⁸ <https://www.saltwaterinc.com/>

⁷⁹ <https://www.natureaustralia.org.au/what-we-do/our-priorities/oceans/ocean-stories/fishface/>

络将渔船上的数据传输给管理者⁸⁰。马尔代夫鲑鱼渔业使用一个线上工具将许可信息与捕捞配额和上岸量数据关联起来。这个线上渔业信息系统工具⁸¹，目的是协助渔业遵守海洋管理委员会（MSC）的认证标准。

VMS 系统的数据依赖从渔船到卫星的定期位置传输，AIS 的信息则是由船舶进行全向广播，确保其他船只、地基接收器和卫星能够接收到这些信号。欧盟近日颁布法规，强制要求长度超过 15 米的渔船发射 AIS 信号（Holmes 等，2020 年）。尽管 AIS 数据仅仅包含船舶 ID、位置和时间戳，研究人员一直在探索如何使用 AIS 数据来鉴别捕捞行为。Natale 等（2015 年）展示了 AIS 数据用于绘制瑞典拖网渔业高分辨率捕捞努力量地图的适用性，而 Souza 等（2016 年）则开发了识别三种渔具的捕捞作业的方法：延绳钓、围网捕捞和拖网，这些方法采用机器学习技术来开发启发性算法。目前也已启动多个倡议来使用 VMS 数据绘制高空间分辨率的捕捞努力量地图。Guillot 等（2017 年）近期开发了一项经过改进的、计算效率较高的方法，可以利用 VMS 数据来鉴别捕捞行为。他们开发的新方法属于隐马尔可夫模型（HMM），可及时解释捕捞作业之间的自相关性。显而易见的是，计算方法的进步以及人工智能和机器学习的改进应用将继续提高我们利用位置数据鉴别捕捞行为类型的能力。

出于成本考虑，有些机构并不愿意采用新系统，但 Thuesen（2016 年）表明，采用新电子系统可实现显著成本节约，即使是对于小规模渔业而言。智能手机的普及使得各式各样的应用能够取代传统纸质日志，提高数据处理过程的效率，并扩大电子报告在全球范围内的应用。美国环保协会近期在印尼远海梭子蟹渔业开展的工作展示了智能手机应用程序⁸²如何推动小规模渔业数据采集工作从纸质报告转变为电子报告。这方面的另一个示例是 Abalobi⁸³，这是一个小规模渔业综合信息管理系统，协助南非的小规模渔民推动数据采集，然后将这些数据集成至市场和天气门户等信息和资源网络。渔民可在智能手机应用程序的用户界面记录他们的渔获量，并使用应用程序提供的分析工具来规划捕捞作业。Jiorle、Ahrens 和 Allen（2016 年）评估了一个休闲垂钓者应用程序在报告美国特定鱼种渔获率方面的准确性，他们发现，在校正自行报告偏差后，这类应用程序能够在传统方法力所不及的情况下生成可靠数据。近期，斯里兰卡的一名研究人员开发了一个智能手机应用程序，可利用手机的 GPS 接收器、移动数据访问、内部存储器和统一码兼容性将渔民的手机转换为一个 VMS 系统（Nyanananda，2017 年）。除了 VMS 功能之外，这个应用程序还包括一个电子日志，以便于渔民以电子形

⁸⁰ <https://www.fisheries.noaa.gov/southeast/commercial-fishing/electronic-logbook-gulf-mexico-shrimp-permit>

⁸¹ <http://ipnlf.org/what-we-do/projects/fisheries-information-system>

⁸² <https://www.edf.org/oceans/these-six-pilot-projects-are-making-fishing-more-sustainable>

⁸³ <http://abalobi.info/>

式报告详细渔获物信息，并将其链接至位置数据。

这些进展表明，使用智能手机应用程序和其他低成本电子技术能够协助小规模渔业以具有成本效益的方式采集数据。但是，在这一方面面临的一项关键挑战是，如何构建能够收集、分析和可视化小规模渔业数据的系统和结构。这些系统可以减少数据使用面临的障碍，从而增加数据需求，但必须确保系统成本低廉、易于使用并且易于访问。这一领域的一项近期进展是 PeskAAS (Tilley 等, 2020 年)，这是一个灵活的开源数字应用程序，可实现对小规模渔业渔获量和捕捞努力量数据的管理、分析和可视化。PeskAAS 系统目前已在东帝汶试点，并计划在更多地理区域加以推广。

3.1.3 估算渔获量和捕捞努力量的遥感技术

卫星成像和传感器技术正在迅速改进，在渔业监测领域的应用不断扩大。许多渔民在夜间捕鱼，并使用强光来吸引鱿鱼和其他鱼种。使用可见光红外成像辐射仪套件 (VIIRS⁸⁴) 等快速改进的传感器可以在太空中检测到这些光线，并且可以用于估算捕捞努力量。通过采用机器学习和图像识别技术，卫星摄像机图像也可用于估算捕捞努力量。例如，Al-Abdulrazzak 和 Pauly (2014 年) 利用谷歌地球 (Google Earth) 来统计阿拉伯湾六个国家的潮间鱼梁数量，并表示根据其估算，实际渔获量可能比报告的官方统计数据高出 6 倍。

3.1.4 岸基摄像机

卫星成像技术在量化捕捞努力量方面的应用正在迅速增加，与此同时，使用数字摄像机的岸基成像技术的应用近期也呈上升趋势。例如，Keller 等 (2016 年) 使用岸基摄像机来监测澳大利亚的人工鱼礁，以估算捕捞努力量的时间演变，而 Lancaster 等 (2017 年) 则展示了岸基远程摄像机监测如何量化加拿大萨利希海 (Salish sea) 休闲渔船对海岸石斑鱼保育区规定的遵守情况。2009 年以来，俄勒冈州休闲渔船调查一直使用视频船舶计数方法来量化俄勒冈州大部分重要港口的捕捞努力量 (Edwards 和 Schindler, 2017 年)。最近，俄勒冈州鱼类和野生动物部一直在与美国环保协会的智能船舶倡议 (SBI)⁸⁵ 合作，联手开发机器学习算法来提升监测过程的效率。这项技术被称为“SmartPass (智能通行)”，采用机器学习算法来自动统计和识别通过特定地理夹点 (例如通道或海港入口) 的船舶 (Haukebo 等, 2021 年)。SmartPass 系统已在印尼和美国墨西哥湾的小规模和休闲渔业进行测试。

⁸⁴ https://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html

⁸⁵ <https://www.edf.org/oceans/smart-boats>

3.2 合规监测

监测捕捞活动的的能力对于有效执行渔业法规至关重要。杜绝非法捕捞行为可以增强渔业资源评估指标的置信度，可以提高合法捕捞的收入，并且有助于推广良好管理实践。世界渔业存在的奴工和契约劳工问题也受到越来越多的关注⁸⁶，而监控对于解决这一重要问题至关重要。许可和注册系统以及船舶识别系统是有效合规监测的重要组成部分，渔业有效监控面临的巨大挑战是海洋浩瀚无垠，而渔业实施和执行基于船舶的监测系统（例如 VMS 或 AIS 系统，渔船可以轻易关闭这些系统）的能力有限。渔业管理机构正在利用新的基于船舶的数字技术，以及最重要的，利用将在未来十年内陆续发射的小型卫星星座群来克服这些挑战。提高卫星在世界海洋的覆盖面积将改善海洋领域的通信，并改善向渔业监测、控制和监视（MCS）机构提供的合成孔径雷达图像的分布、频率和成本。

全球正在加强协调联动，严厉打击非法捕捞行为。国际渔业监测、控制和监视网络是由负责渔业监测、控制和监视工作的人员组成的自愿网络，成员包括区域渔业管理组织（RFMO）的代表和渔业管理者，旨在促进和方便成员协调联动，进而提高渔业监测、控制和监视活动的效率和有效性⁸⁷。渔业监测、控制和监视机构还与港口管理者合作，自动化进港系统，允许遵守渔业监测、控制和监视要求（例如，持续运行 AIS 系统）的渔船入港，并为其提供服务。

3.2.1 渔船跟踪装置

除了主要应用于工业化渔业的先进 AIS 和 VMS 系统之外，目前还存在数量众多的小规模渔船跟踪装置。这些装置大部分都是采用太阳能供能的，而且安装简便，仅需用螺栓将其固定至船体便可。其中一些装置使用全球移动通信系统（GSM）蜂窝网络来传输位置数据，另一些装置则使用卫星来传输数据。例如，Pelagic 数据系统⁸⁸提供专为个体渔业设计的渔船跟踪系统。Pelagic 系统并不依赖价格昂贵的卫星系统，而是包含一个由太阳能供能的小型硬件盒，可安装在小型渔船上，安装过程非常简便。一旦渔船进入手机信号塔范围内，捕捞位置和时间以及使用的渔具类型等数据将自动传输至服务器。这个整体系统可以测绘并测量捕捞努力量，以协助管理者实施基于区域和基于权利的渔业管理，并且能够监测非法捕捞行为。在过去十年里，其他多家公司也已开始提供由太阳能供能的类似跟踪装置。一些装置整合了蓝牙连接，从而能够将其

⁸⁶ <http://www.ilo.org/global/topics/forced-labour/policy-areas/fisheries/lang--en/index.htm>

⁸⁷ <http://imcsnet.org/>

⁸⁸ <https://www.pelagicdata.com/>

他渔船的传感器数据集成至系统中⁸⁹。其他装置则在整体数据系统中整合了面向渔民的广泛增值服务（例如，捕捞作业分析数据）⁹⁰。

目前也有一些倡议正在利用 VMS 和 AIS 跟踪渔船，并使用机器学习技术来识别进入禁航区的渔船，并检测与非法转运有关的运动模式。OceanMind⁹¹则提供分析服务和工具，以及一个利用卫星数据、渔船数据库、AIS 和 VMS 系统来监视渔船活动和向渔业管理机构警示可疑活动的平台。这个平台能够近乎实时地合成多个数据流，以提供可执行的执法建议。虽然这一系统可以非常有效地标记潜在违法行为，但它非常依赖与管理机构的密切协调。OceanMind 目前已与一些连锁超市开展合作，帮助提高超市供应链的问责制和透明度⁹²。另一个技术平台全球渔业观察（GFW）⁹³是 SkyTruth⁹⁴、Oceana⁹⁵和谷歌携手推出的伙伴关系平台。全球渔业观察汇合来自全球渔船的 AIS 和 VMS 信息，整合来自卫星的可用合成孔径雷达数据，并采用机器学习技术来鉴别捕捞行为。任何可以连接互联网的人都可以查看全球渔业观察平台上的信息（主要是匿名信息）。印尼、巴拿马和智利宣布将国内 VMS 数据共享至全球渔业观察平台，这是各国为提高渔业透明度开展的工作的典范⁹⁶。



3.2.2 促进渔业监测、控制和监视的远程跟踪技术

虽然 VMS 和 AIS 系统已广泛用于渔业监视，但是绝大多数开展非法捕捞行动的渔船可能并未装备跟踪装置。在这些情况下必须进行远程监测。渔船远程监测技术包括

⁸⁹ <https://solarvms.com/>

⁹⁰ <https://thoriumvms.com/>

⁹¹ <https://www.oceanmind.global/>

⁹² <https://news.microsoft.com/on-the-issues/2019/06/06/ocean-mind-illegal-fishing/>

⁹³ <https://globalfishingwatch.org/>

⁹⁴ <https://skytruth.org/>

⁹⁵ <https://oceana.org/>

⁹⁶ <https://globalfishingwatch.org/programs/印尼-vms/>

低成本雷达系统（例如，人类世研究所开发的雷达系统）⁹⁷，这些雷达系统被战略性地安装在渔场附近，可用于监视海洋保护区（MPA）、禁渔区和基于渔业水域使用权的海洋渔业管理（TURF）。无人飞行器在保育和非军事领域的应用也取得了诸多进展。例如，塞舌尔目前正在开发 FishGuard⁹⁸项目，利用由人工智能指引并且仅需极少人力投入的远程固定翼无人机来监测广阔专属经济区（EEZ）中的非法捕捞行为⁹⁹。伯利兹城则使用无人机来监测 Turneffe 海洋保护区¹⁰⁰。

在更遥远的太空，研究人员也探索了如何利用遥感技术来鉴别非法捕捞行为。例如，Longépé 等（2017 年）结合星载高分辨率合成孔径雷达影像与 AIS 和 VMS 系统，以查明印尼阿拉弗拉海（Arafura Sea）中的非法捕捞范围。这一方面另一个示例是 Karagatan Patrol¹⁰¹，这是一个利用可见光红外成像辐射仪套件（VIIRS）跟踪船舶的在线平台，目前已在菲律宾得到应用，如果在距离海岸 15 千米内检测到商业规模灯光，则意味着发生非法捕捞行为¹⁰²。由挪威政府合资拥有康斯贝格卫星服务公司（Kongsberg Satellite Services）¹⁰³目前已发射大量卫星，每月可在特定海域上方飞行超 50,000 次。这些卫星提供的图像已用于监测污染、渔船活动、冰川运动和滥砍滥伐行为。Planet Labs（星球实验室）¹⁰⁴发射了“全球最大规模的地球影像卫星星座群”，可供 Skytruth 和其他致力于打击 IUU 捕捞行为的公司使用。Hawkeye 360¹⁰⁵和 UnseenLabs¹⁰⁶也于近期发射了“小型卫星”星座群来提供射频监测服务，至少有部分卫星被用于跟踪渔船。据全球渔业观察预计，随着 AIS 数据、合成孔径雷达数据甚至卫星光学遥感数据持续增加，射频监测数据的价格将迅速降低，并且更容易获取。之前，卫星光学遥感数据的价格过高，无法实现扩展，但自从欧盟发射提供免费、完整和开放数据的 Sentinel（哨兵）卫星以来，这种情况正在发生变化¹⁰⁷。

声学传感器相对比较便宜，可部署在各种平台上，因此在海洋监测领域具有广阔潜力。在一些情况下，渔船发出的声学信号可以用于识别船舶类别甚至确定具体渔船。如果监测系统包含超过两台水听器，则可以通过三角定位法确定渔船的准确位置，并

⁹⁷ <https://www.anthropoceneinstitute.com/oceans/overfishing/marine-monitor/>

⁹⁸ <https://www.grida.no/activities/275>

⁹⁹ <https://www.seafoodsource.com/news/environment-sustainability/drones-fisheries-enforcement-potential-remains-untapped-even-as-projects-advance>

¹⁰⁰ <https://www.suasnews.com/2019/08/water-landing-drones-routinely-fly-bvlos-missions-over-marine-reserve-against-illegal-fishing-and-pro-biodiversity/>

¹⁰¹ <http://www.karagatanpatrol.org/>

¹⁰² <https://news.mongabay.com/2020/06/lockdown-allowed-illegal-fishing-to-spike-in-philippines-satellite-data-suggest/>

¹⁰³ <https://www.ksat.no/>

¹⁰⁴ <https://www.planet.com/>

¹⁰⁵ <https://www.he360.com/>

¹⁰⁶ <https://unseenlabs.space/>

¹⁰⁷ <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/sentinel-data-access>

确定渔船的速度和方向。因此，声学传感器适合用于海洋保护区或以社区为基础的TURF的近岸监测，这些区域内的非法捕捞行为可以轻易与合法捕捞活动区分开来。虽然 Loggerhead Instruments¹⁰⁸和 Ocean Instruments¹⁰⁹等多家公司都在制造用于声学监测的无源声频信号陷波器，捕捞努力量（例如，渔船进入保护区）监测工作目前仍处于初期阶段。Conservify¹¹⁰正在开发用于基于社区的声学监测的开源系统，澳大利亚也正在使用无源声学传感器来探测海洋保护区中的船舶活动（Kline 等，2020 年）。



3.3 鱼类资源丰度和生产力估算

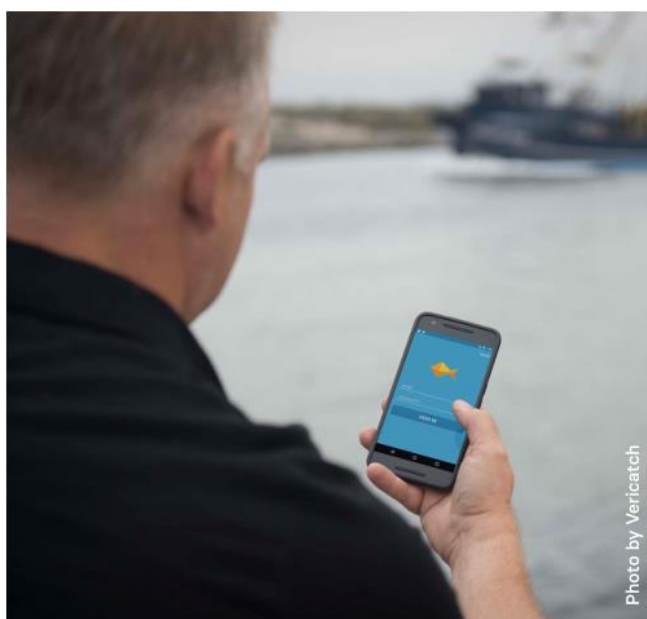
改进鱼类资源丰度和生产力估算可以增强对渔业管理法规（例如，总允许捕捞量）实现管理目标的信心的信心，并且可以提高渔业的长期收益。但是，目前许多渔业并没有充足的资源来收集渔业相关数据（捕捞作业过程中收集的数据），更别提开展独立渔业调查需要的数据——独立渔业调查通常需要更高水平的科学专业知识，以及大量财政资源支持。鱼类资源丰度估算是渔业可持续发展目标点（例如，捕捞限制）的主要输入，但目前仍然只能使用单位捕捞努力量渔获量（CPUE）数据和独立渔业调查数据进行估算。技术进步正在改进渔获数据的收集方式，并降低资源丰度调查的成本。鱼类种群生产力估算目前采用的是种群数量模型，该模型需要输入以下数据：特定鱼龄或体长的存活率、鱼类生长速率、与种群规模有关的资源补充量以及其他参数数据。不论采用何种工具，这些类型的数据的获取难度可能高于数据的丰富度。然而，小型遥控潜水器（ROV）和自主航行器等购置和运行成本低廉的技术可以利用激光、鱼类自动识别、测量和计数软件来收集更多体长组合数据。这些数据随后可用于估算捕捞

¹⁰⁸ <https://www.loggerhead.com/>

¹⁰⁹ <http://www.oceaninstruments.co.nz/>

¹¹⁰ <http://conservify.org/>

死亡率和繁殖能力。



在丰度和生产力数据采集技术取得进步的同时，整理、分析和可视化这些数据的必要工具也取得了显著进步。例如，目前正在加快开发显示渔业绩效指标（例如单位捕捞努力量渔获量）随时间和空间发生的变化的仪表板。OLSPS¹¹¹、Woods Hole 集团¹¹²和 Vericatch Solutions¹¹³目前都已将这些分析工具应用于生产过程。计算机视觉技术也取得了进步，可用于将音频和视频数据转变为关于渔业健康的直观洞见。越来越多的公民科学家也开始参与这些行动。例如，NOAA 的太平洋岛屿渔业科学中心已在使用摄像机采集底栖鱼种影像，并推出了 OceanEYES¹¹⁴倡议来鼓励公民科学家志愿协助鉴别鱼种，为图像作注解，便于将这些图像馈入计算机视觉算法。

3.3.1 摄像机视觉调查

常规遥控潜水器（ROV）的购置和运行成本（需要具备强大供电能力的大型船舶）仍然相对较高，而 BATFish¹¹⁵等新的、规模较小的遥控潜水器可以提供一种更具成本效益的方式来收集图像和传感器中的数据，进而估算鱼群密度、鱼类种群组成和体长结构。BATFish 是一种扁平的水动力拖曳式航行器，可开展具有成本效益的广域视觉调查。BATFish 在一个重 130 磅的系统中装备两台摄像机、多个灯具、一个多波束声呐、高度计和录像机，可以在小型（约 25 英尺）船舶后拖行。除了拖曳式水下视频（TUV）系统外，目前正在开发的其他技术包括诱饵式远程水下视频（BRUV）系统，

¹¹¹ <https://www.olsps.com/>

¹¹² <http://www.whgrp.com/>

¹¹³ <https://vericatch.com/>

¹¹⁴ <https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/citizen-scientists-help-count-deep-7-bottomfish-hawaii>

¹¹⁵ <https://www.maregroup.org/batfish.html>

使用诱饵将鱼吸引至摄像机视野内；自主运行的远程水下视频（RUV）系统；由潜水员操作的潜水员操作视频（DOV）系统；立体视频技术，利用设置在不同角度的两台摄像机生成 3D 图像。重要的是，所有这些技术都在随着时间的推移实现显著改进：尺寸越来越小，成本越来越低，可采集分辨率更高的图像，使用尺寸更小、更强大的电池，信息存储能力也越来越强。这些技术可用于估算鱼类种群生物量和鱼类种类组成，同时与传统方法相比，可以显著降低鱼类死亡率，并且能够采集其他信息，包括关于鱼类栖息地、行为、体长组成和迁移轨迹的数据。

NOAA 的研究人员开发了 CamTrawl¹¹⁶立体摄像系统，可安装在拖网网囊（位于末端）附近。拖网将鱼群汇集在一起，并将它们输送至摄像机视野内，在摄像机记录鱼群后安全释放鱼群。然后，科学家使用一种算法来鉴别鱼种，并估算渔获物体长，这种算法可以在不到一天的时间里浏览 200 至 300 万静态图像，如果采用人工审核，耗费的时间要长得多¹¹⁷。这一方面的其他示例包括 Habcam 项目¹¹⁸，每天发回 500,000 张由搭载在不同水下航行器上的摄像机拍摄的图像。伍兹霍尔海洋研究所的研究人员与新英格兰渔业科学中心合作开发了一种算法，快速并且足够准确地检测海扇贝（检测率介于 60% 至 95%，与人工图像分类检测率一致）。在美国西海岸，俄勒冈州鱼类和野生动物部使用搭载立体摄像头的遥控潜水器来测量传统拖网评估工具无法进入的栖息地中的石斑鱼鱼类种类组成、丰度和体长¹¹⁹。美国南佛罗里达大学的科学家则使用 C-BASS（基于摄像机的评估调查系统）¹²⁰，一种装备立体摄像机的拖曳式摄像机系统，在墨西哥湾开展栖息地评估，近期还在评估调查中使用 C-BASS 系统协助对红鲷鱼进行视觉计数。

尽管研究人员可以访问大量、并且仍在不断增加的高质量视频和其他图像，使用现有人工技术来分析这些数据是一项极为繁重的任务。技术型平台的快速发展使摄像机成像能够用于栖息地评估和种群评估，尽管图像数据处理技术仍然比较落后（Bicknell 等，2016 年）。在提高图像分析效率方面最具影响力的进步是通过先进算法自动化分析过程。目前已开发出多个具有前景的图像分析算法。例如，华盛顿大学电气与计算机工程¹²¹正在引领一个项目，使用机器学习技术自动识别来自遥控潜水器的图像。目前，这一技术仍然存在各种各样的问题，尤其是高误检率问题，但是这些问题可以通过跨帧运动提取和其他技术进步来克服。Fish4Knowledge 项目¹²²旨在通过与

¹¹⁶ https://www.st.nmfs.noaa.gov/aiasi/afsc_camtrawl.html

¹¹⁷ <https://www.st.nmfs.noaa.gov/aiasi/Home.html>

¹¹⁸ <https://habcam.whoi.edu/>

¹¹⁹ <https://www.dfw.state.or.us/MRP/fisheries/populations.asp>

¹²⁰ <https://www.marine.usf.edu/scamp/about/visual-surveys-with-c-bass/>

¹²¹ <https://people.ece.uw.edu/hwang/>

¹²² <https://groups.inf.ed.ac.uk/f4k/>

公众合作，开发能够有效从视频图像中有效提取信息的算法来自动识别和注释视频图像，并自动化数据存储。研究人员使用水下实时视频作为试验台，并开发了一款在线游戏，来鼓励用户选择和鉴别鱼种，以收集大量带注释的图像来测试分析技术。游戏收集了由用户提供的大量高质量注释。为了让更多人能够利用机器学习算法开发，Kitware¹²³联手 NOAA 科学家，共同开发海洋环境视频和图像分析（VIAME）¹²⁴开源软件平台，以促进开发水下图像分析计算机视觉技术。在水产养殖行业，Tidal¹²⁵开发了一个面向渔民的水下摄像机系统，可探测和解释肉眼不可见的鱼类行为¹²⁶。商业利益的驱动，为相关技术的发展并最终应用于渔业科学领域发挥了重要作用。

3.3.2 用于评估的声学技术

除了视频和摄像机成像之外，有源（声呐）和无源（基于水听器）声学方法也被广泛应用于渔业和水产养殖业。例如，无源声学技术近期已被用于提高虎虾饲养效率（Smith 和 Tabrett，2013 年），有源声学技术则被用于在两年一度的美加综合生态系统和太平洋无须鳕声学拖网调查中评估太平洋无须鳕的丰度¹²⁷。提高价格低廉的声学技术的采用范围似乎是可行之举。声学技术的进步及其扩大应用可以继续为渔业管理者带来效益。例如，用于水体成像的宽带反向散射技术是在窄带回声测深仪基础上进行的改进，而且随着设备成本持续下降，这一技术目前已经是一项可行技术（Bassett 等，2016 年）。例如，美国西海岸无须鳕渔业近几年来一直使用声学调查来协助开展评估，近期已开始制定结合声学调查和底层拖网调查的协议，以确保采样工作涵盖调查鱼种的整个垂直分布范围（Kotwicki 等，2017 年）。奎诺尔特印第安民族的渔业管理者一直使用自动化水声监测系统对超过 200 米范围内的鲑鱼进行探测、尺寸测量和 3D 跟踪。该系统可 24 小时运行，监控并自动统计鱼类数量，并将鱼类状态参数实时传输给渔业管理者（Klemas，2013 年）。

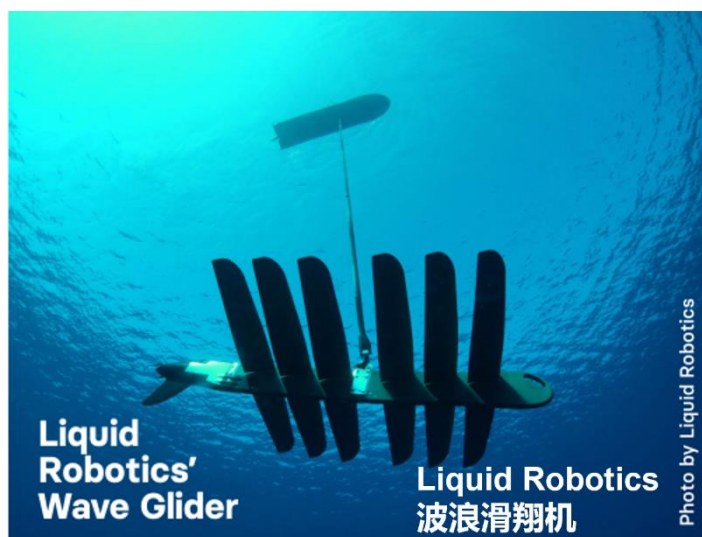
¹²³ <https://blog.kitware.com/kitware-and-noaa-host-viame-software-integration-and-training-workshop/>

¹²⁴ <https://www.viametoolkit.org/>

¹²⁵ <https://x.company/projects/tidal/>

¹²⁶ <https://9to5google.com/2020/03/01/alphabet-x-tidal-ocean/>

¹²⁷ <https://www.fisheries.noaa.gov/west-coast/science-data/joint-us-canada-integrated-ecosystem-and-pacific-hake-acoustic-trawl-survey#collecting-acoustic-data-at-sea>



Liquid Robotics 的波浪滑翔机¹²⁸可装备一系列传感器和其他数据采集仪器，主动采集和传输（利用卫星、蜂窝网络或宽带）数据，理想条件下的续航时间长达一年。Greene 等（2014 年）提出使用这项相对廉价的技术来代替渔业考察船开展声学渔业资源评估调查的愿景，并认为滑翔机“舰队”可开展美国西海岸无须鳕渔业评估，且需要的时间仅为当前评估时间的八分之一，成本也将大幅降低。阿拉斯加渔业科学中心近期则在使用另一个平台 Saldrone 开展 2020 年白令海狭鳕渔业评估¹²⁹。

目前，科学家们正在尝试使用 Slocum 滑翔机¹³⁰来定位产卵鱼群。Slocum 滑翔机利用洋流能量在海洋中“滑翔”（与传统滑翔飞行器的原理类似），并定期浮出水面，利用卫星传输数据。滑翔机自带动力，可在预编程的调查轨道上运行数周。滑翔机上装备了无源声学接收器，以“聆听”聚集产卵的鱼群发出的声音，一些鱼种在聚集产卵时会发出特殊的声音¹³¹。这项技术目前已在西北大西洋和加勒比海一些地区得到应用¹³²。

声学遥测技术采用声学信号发射器标记鱼群中的个体，并跟踪它们的迁移活动，这项技术增进了我们对海洋鱼类资源的了解。例如，Verhelst 等（2016 年）利用声学遥测技术来探测北海大西洋鳕鱼（*Gadus morhua*）的季节性洄游行为。虽然这类信息对渔业资源评估具有明显价值，它们也可以用于实施基于空间和时间的捕捞配额或其他管理工具。

3.3.3 环境 DNA 和遗传学

最近，研究人员对环境 DNA（eDNA）分析产生了浓厚的兴趣。环境 DNA 分析可

¹²⁸ <https://www.liquid-robotics.com/platform/how-it-works/>

¹²⁹ <https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/ocean-going-robots-effective-surveying-pollock>

¹³⁰ <http://www.teledynemarine.com/slocum-glider>

¹³¹ <https://oceanservice.noaa.gov/facts/ocean-gliders.html>

¹³² <https://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/explorations/ex1502/background/leg1/welcome.html>

以识别宏观生物（无论死活）掉落至周边环境的遗传物质。一项可用于估算鱼类资源丰度的具有前景的技术涉及使用从海水中采集的环境 DNA 作为评估鱼类资源丰度和组成的指标，研究人员近期才开始了解环境 DNA 技术在渔业评估领域的应用潜力。直到最近，环境 DNA 技术的应用一直仅限于鱼种检测（存在/不存在；Kelly 等，2014 年）。但 Stoeckle、Soboleva 和 Char-lop-Powers（2017 年）近期提取了哈德逊河（Hudson River）河口的环境 DNA，并发现可在环境 DNA 检测到丰富的常见河口鱼种，而非罕见鱼种，这表明鱼类资源丰度和环境 DNA 丰度之间存在可量化关系。河口中大部分鱼种的线粒体 DNA 序列已存储在 GenBank 数据库中¹³³，因此能够识别扩增的环境 DNA 序列。研究发现，环境 DNA 具有一种“金发姑娘”特质，即，存留时间足够长，可被检测到，但也不会过长，而导致无法定位。重要的是，即使河口中汇入了哈德逊河的河水，但研究人员在环境 DNA 中很少检测到淡水鱼种，并且检测到的鱼种因季节而异，与鱼类种群的春季洄游现象一致。最近，Sigsgaard 等（2016 年）提出了一项重要的原理验证，即环境 DNA 数据可用于提供鱼类种群信息。研究人员一直在试图确定一个区域的海水样本中的环境 DNA 数量和组成与该区域内特定鱼种的密度之间的关系。Thomsen 等（2016 年）对拖网调查渔获物和海水环境 DNA 组成进行了比较，发现环境 DNA 中属于格陵兰睡鲨（*Somniosus microcephalus*）的 DNA 比例较高，但在拖网调查中仅捕获了一头格陵兰睡鲨。这些进展对于检测和评估可能避开渔具的鱼种具有重要意义，并阐明了环境 DNA 或“生物群落条形码”的应用潜力，不仅可用于渔业资源评估，还可用于正式综合生态系统评价，包括食物网评估（Goodwin 等，2017 年）。

检测海水中的环境 DNA 具有挑战性：海水体积与生物量的比率、洋流和高盐度意味着环境 DNA 的浓度非常低，消散速度更快，并且可能无法得到完好保存。然而，重要的是必须认识到，环境 DNA 能够提供其他采样方法无法提供的众多优势。与底层拖网采样不同，环境 DNA 提取适用于几乎所有海洋环境。提取环境 DNA 需要的专业知识或工作量很少，从而降低了成本，并使其更容易应用于农村地区和发展中国家。DNA 鉴定也比视觉样本更加客观、确定性更高，因此，在未来，我们必将能够通过分析给定区域的海水样本来估算该区域内特定物种的丰度。目前研究人员已开发出易于使用的便携式商用产品，可装备用于检测和识别 DNA 的传感器，从而能够开展基于现场的环境 DNA 分析（Yamahara 等，2019 年）。

在过去十年里实现迅速发展的另一个遗传学研究领域是使用遗传种群鉴定（GSI）技术来探测种群结构，并确定不同的物种、亚种和种群。俄勒冈州立大学研究人员引

¹³³ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>

领的西海岸遗传种群鉴定项目旨在揭示劣势鲑鱼种群的渔获地点和时间模式，这类鲑鱼主要来自北加州（Teel 等，2015 年）。这些信息尚未用于实时管理，但其拥有巨大潜力：如果能够检测到一致的时空模式，或者能够生成近乎实时的遗传信息，划定短期禁渔区的反应式管理将能够为西海岸渔民带来更多重大利益（Satterthwaite 等，2015 年）。这一方面的另一个示例是，加拿大研究人员使用遗传学技术结合传统知识和社会科学方法，增进对北部鱼类种群的认识，最终提高偏远社区的管理能力¹³⁴。

3.4 海洋生态系统监测

生态系统质量是影响鱼类群落组成、生产力和整体系统恢复力的重要决定性因素。提高对渔业包含的各类栖息地的范围和组成的认识可以提高管理者制定法规（例如划定禁渔区或保护区）或者制定针对特定区域的法规（例如，允许使用的渔具类型）的能力。生态系统监测工作采用的工具和生成的产出对于促进渔业可持续管理至关重要，但其应用非常广泛，不仅局限于渔业。例如，监测水产养殖场排放的污水或微塑料等污染物可以协助配置污染防治资源，确定可能的污染源。改善协调海洋空间规划（MSP）方法的输入数据质量可以惠及所有海洋资源使用者（相关概述请参阅 Collie 等，（2013 年））。然而，由于资源有限，收集的数据的详细程度和数据量往往不足以用于基于生态系统的管理或生态系统健康管理。

测量生态系统健康状况的常规方法非常耗时，而且实施成本高昂，有时会导致渔业社区的贡献被排除在测量过程之外，而且底层拖网调查等方法会对生态系统造成严重影响（NOAA 渔业部，2020 年）。许多新兴技术造成的破坏比较小，可有效测量鱼类群落组成和生产率等生物学特征，并且可以收集温度、盐度、溶解氧以及碳捕获潜力等实时物理海洋数据。目前正在开发利用人工智能工具分析由各种先进传感器收集的海量数据集的新方法，以加强海洋生态系统监测。新兴技术还能够收集实时数据，让我们向近实时数据分析迈进一大步。如此一来，可以为利益相关者（包括渔民和政府）提供一个重要机会，采取适应性行动，应对复杂的气候变化影响。总体而言，目前研究人员正在开发更多用于测量生态系统健康状况的新技术，这些技术具有环保意识、成本效益，可传输实时数据并适应新兴挑战。

3.4.1 海洋生态系统测绘

遥感技术可以为栖息地划定和测绘（包括设计海洋保护区）提供信息支持。遥感技术的基础理念是，海面温度、盐度和叶绿素浓度等关键海洋学变量可在远程测量，

¹³⁴ <https://newsroom.carleton.ca/story/track-fishing-boost-food-security/>

并且是海洋生物多样性、栖息地范围和质量的优质代理变量（Kachelriess 等，2014 年）。遥感技术可以提供关于全球性生态系统的结构及其变化过程的长期趋势的信息，该信息具有可重复测量、标准化和可核实的特点。遥感数据的空间和时间尺度是原位测量永远无法企及的。结合大数据分析领域的新兴进展，遥感技术将发挥巨大潜力，为规划和定位人类在海洋领域的活动提供洞见。在近期的一个示例中，科学家利用大数据技术来确定具有最高生态-经济综合效益的海洋保护区候选地点，为此科学家们使用了超过 220 亿个经济活动数据点和大量生态数据¹³⁵。

半自主无人机在收集关于海洋过程的分布和规模信息方面也极具潜力。2017 年，NOAA 在太平洋上部署了一个半自主无人机舰队 Sairdrones¹³⁶开展一个为期 8 个月的项目，目的是研究破坏气候的厄尔尼诺事件的征兆¹³⁷。这些无人机采集环境和大气变量等高分辨率海洋数据，并且可装备专门的回声测深仪，以开展渔业资源评估和深度勘测。Sairdrones 记录海洋学变量分布出现的陡峭梯度，为气候模型提供有价值的输入。卫星通常难以检测到这类梯度，而固定式或老化的浮标则容易忽略这类梯度（Voosen，2018 年）。其他水面无人机包括 Datamaran¹³⁸，目前已被用于观察海洋哺乳动物和研究地震学。

合成孔径侧视雷达（SLAR）和合成孔径雷达（SAR）（Brown、Fingas 和 Hawkins，2003 年）可跟踪浮油和鱼群引起的反向散射模式。这些技术可以搭载在飞行器上，以探测竹夹鱼、鲑鱼、南方蓝鳍金枪鱼和海豚等鱼群（Klemas，2013 年），并且美国海岸警卫队自 20 世纪 60 年代起开始使用这些技术测绘海冰状况。除了观测整体冰情之外，合成孔径侧视雷达图像还可用于识别单个浮冰的大小、形状和表面特征¹³⁹。目前，跟踪海冰状况是评估气候变化对渔业影响的一项重要工作。

¹³⁵ <https://www.sciencedaily.com/releases/2020/04/200407131507.htm>

¹³⁶ <https://www.sairdrone.com/>

¹³⁷ <http://www.sciencemag.org/news/2018/03/fleet-sailboat-drones-could-monitor-climate-change-s-effect-oceans/>

¹³⁸ <http://www.automarinesys.com/>

¹³⁹ <https://trid.trb.org/view/3635>



3.4.2 污染监测

微塑料等污染物对水生和陆地生物构成有害威胁，尤其是许多污染物会沿食物链在生物体内累积。“珊瑚接触塑料后，患病风险会从 4% 骤增至 89%”（Lamb 等，2018 年，第 460 页）。纳米传感器、测绘技术、高光谱成像和 3D 建模等新兴技术都可以协助绘制下落不明的塑料分布地图。光谱流式细胞术在原位识别一系列物质方面拥有巨大潜力，可以使用便携式设备近乎实时地识别水样中的塑料和有害藻类等物质（Leape 等，2020 年）。这些技术基于分子振动识别微塑料等物体，为便携式、基于平台的微塑料探测器开辟了广阔前景（Araujo 等，2018 年）。Draper¹⁴⁰等机构将微塑料传感器搭载在自主水下航行器（AUV）上，它与美国环保署合作，使用塑料颗粒污染指数（PPPi），利用数据共享平台构建稳健微塑料传感器网络¹⁴¹。高光谱摄像机能够识别海水中的微塑料，并且部署工作相对简单，因此，它收集的信息也可用于改进塑料污染监测（Fu 等，2020 年）。目前海洋领域部署的大部分高光谱摄像机都是搭载在机载平台上，可从远处识别物体（例如，漏油事件），高光谱摄像机在针对一系列物质的原位采样中的应用也在逐渐增加（Kachelriess 等，2014 年）。

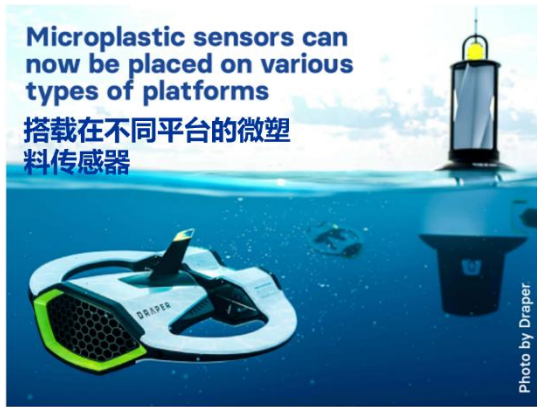
为了应对日益频发的有害藻华问题（HAB；McPartlin 等（2016 年）），蒙特利海湾研究所（MBARI）开发了一个环境样品处理器（ESP）¹⁴²，旨在自动检测系泊处的有毒藻类。环境样品处理器使用分子探针技术来传输实时数据，成本显著降低，因此已取代收集并将水样送至实验室进行分析的过时技术。蒙特利海湾研究所的化学传感器小组¹⁴³还使用搭载传感器的滑翔机来测量溶解的化学物质的浓度。

¹⁴⁰ <https://www.draper.com/explore-solutions/microplastics-sensor>

¹⁴¹ <https://www.draper.com/sites/default/files/2019-03/Infographic%20Final.pdf>

¹⁴² <https://www.mbari.org/technology/emerging-current-tools/instruments/environmental-sample-processor-esp/>

¹⁴³ <https://www.mbari.org/science/upper-ocean-systems/chemical-sensor-group/>



3.4.3 监测海洋生物健康状况

目前许多组织正在利用新技术监测多种海洋生物的健康状况。例如杜克大学海洋实验室¹⁴⁴一直在测试利用无人机开展广泛生态系统监测工作。研究人员使用 SenseFly 的固定翼 eBee 无人机系统¹⁴⁵和 Thermomapper 摄像机（利用热成像自动检测和统计海洋生物）在加拿大东部和新英格兰的偏远岛屿上开展灰海豹种群调查¹⁴⁶。SenseFly eBee 也被用于创建企鹅栖息地的 3D 表面模型，并用于测绘南极洲冰川侧面融水的热测绘图¹⁴⁷。其他无人机（例如 Sofar 推出的经济型 Trident 遥控潜水器）¹⁴⁸可根据需求搭载传感器、模块和附加装置，以收集特定地点的海洋数据。海洋联盟的 SnotBot¹⁴⁹计划使用无人机采用无创方法采集鲸鱼的呼出气冷凝液。SnotBot 搭载的设备包括培养皿、海绵、摄像机和麦克风，以采集鲸鱼的“鼻涕”样本，其中包含 DNA、应激激素和妊娠激素、微生物组以及衡量动物健康状况的其他指标。

科学家们正在利用仿生学技术发明以非入侵性的方式采集复杂生态系统动力学数据的技术。例如 Robofish¹⁵⁰可合作跟踪水下活动目标，例如鲸鱼群或鱼群，并且对鱼类自然行为的影响最小。这些机器人可以合作追踪大群生物，或者测绘不断扩大并且形状持续变化的大片污染¹⁵¹。

¹⁴⁴ <https://nicholas.duke.edu/marinelab>

¹⁴⁵ <https://www.sensefly.com/drone/ebee-x-fixed-wing-drone/>

¹⁴⁶ <https://sites.nicholas.duke.edu/uas/>

¹⁴⁷ <https://sites.nicholas.duke.edu/uas/highlights-from-antarctica-research/>

¹⁴⁸ <https://www.sofaroccean.com/products/trident>

¹⁴⁹ <https://whale.org/snotbot/>

¹⁵⁰ <https://magazine.washington.edu/uw-researchers-create-robofish-that-can-talk-to-each-other/>

¹⁵¹ https://www.engr.washington.edu/facresearch/highlights/aa_robofish.html



3.4.4 声学生态系统监测

水下声学监测声一直是渔业资源评估的关键组成部分，也可以为监测生态系统健康状况提供独特视角。位于美国东北部的波士顿港采用一个搭载无源声学记录仪、先进算法和数据传输能力的浮标系统，配合一个变速系统来减少航运业与鲸鱼发生撞击事故的概率¹⁵²。一旦发现有鲸鱼靠近航道（通过鲸鱼发出的声音识别），系统便会向监管者发出警告，并实施自适应速度限制。

Loggerhead Acoustic Instruments¹⁵³和 Ocean Instruments¹⁵⁴设计的无源声频信号陷波器已被用于监测鱼类和哺乳动物发出的声音，整体海洋声景，以及风电机组、打桩机和地震勘测产生的噪音。Loggerhead Instruments 开发了高速运动数据记录仪，在前所未有的细节程度上研究动物行为，可以为揭示人类噪音污染对海洋生物种群健康状况的影响提供重要见解。该公司还与迈阿密大学的科学家合作，联手创建了 Medusa Ocean Profiler（海洋剖面仪）¹⁵⁵，以具有成本效益的方式研究仔鱼生存环境。Ocean Instruments 的声频信号陷波器已被用于开发自动检测海洋哺乳动物的新方法。它们的配套软件能够整合声学数据和其他类型的数据，可以有效的纳入统计和机器学习模型，形成相关的结果，因此拥有巨大变革潜力。

研究人员也雇佣公民科学家来协助以新方式监测生态系统健康状况。例如，英国

¹⁵² <https://www.technologyreview.com/2008/05/07/34531/stopping-ship-whale-collisions/>

¹⁵³ <http://www.loggerhead.com/>

¹⁵⁴ <http://www.oceaninstruments.co.nz/>

¹⁵⁵ <https://www.loggerhead.com/past-projects>

的一个跨学科团队设计了一个配备声学水听器和扬声器的 Sonic Kayak 系统，供研究人员和公民科学家监听水下生态系统，并且可以采集水下声音和温度数据（Griffiths 等，2017 年）。公民科学家滑动船桨，便可以听到并记录水下水听器拾取的声音，因此可以监听海洋生物，并监测来往船只和其他人为声音。Sonic Kayak 这类系统也被用于追踪夏威夷海洋保护区内一个浅水区高能岸礁栖息地中的鱼类行为和迁徙模式（Meyer 和 Holland，2001 年）。

3.4.5 珊瑚礁健康状况监测

监测珊瑚礁健康状况是衡量气候变化对生态系统健康影响的重要途径，而激光雷达（LiDAR）在增进我们对珊瑚礁栖息地动态的了解方面发挥着关键作用（Klema, 2013 年）。基岩海洋勘探公司的倡议¹⁵⁶旨在绘制最全的世界海洋地图，使用激光雷达绘制海底 3D 水深图，以实现珊瑚礁结构、覆盖面积和多样性的跨时间尺度监测。通过使用美国陆军工程兵团开发的 SHOALS（扫描海道测量机载激光雷达测量）系统，研究人员发现珊瑚礁褶皱度与鱼类集群结构密切相关。激光雷达技术还可以结合商业渔获信息，来表征澳大利亚维多利亚州西部鲍鱼渔业的地理足迹（Jalali 等，2015 年）。NOAA 研究人员还在波多黎各使用激光雷达技术来测绘复杂的混合底栖生境¹⁵⁷，并确定激光雷达的水深测量功能测得的形态测定模式是资源管理规划多个常用鱼类和珊瑚指标的良好预示指标（Pittman 等，2009 年）。Sofar 的 Spotter¹⁵⁸等浮标也已用于监测珊瑚礁，以增进对南太平洋岛国瓦努阿图海岸过程的了解¹⁵⁹。为了利用公民科学促进海洋生态系统监测，Aqualink¹⁶⁰与科学家远程协作，以慈善形式支持社区管理本地海洋生态系统，并为合作社区提供 Sofar 的智能浮标 Spotter。

3.4.6 海洋观测

随着海洋数据越来越易于获取，海洋观测行业可以克服挑战，制定相关标准和实践，以整合跨设备、制造商、用户和领域的传感器数据（del Rio 等，2017 年）。目前，构建智能水下传感器网络，使用多媒体技术进行海洋遥感和数据可视化，加强海洋灾害遥感和预测，为海洋产业提供服务（例如为航运业提供海冰监测服务）等领域的潜力巨大。CLS¹⁶¹、Smart Ocean Systems（智能海洋系统）¹⁶²、Garmin¹⁶³、Hohonu¹⁶⁴等

¹⁵⁶ <https://bedrockocean.com>

¹⁵⁷ <https://www.fugro.com/about-fugro/our-expertise/innovations/laser-airborne-depth-sounder-lads>

¹⁵⁸ <https://www.sofaroccean.com/products/spotter>

¹⁵⁹ <https://www.sofaroccean.com/posts/coastal-risk-assessment-in-a-coral-reef-lagoon>

¹⁶⁰ <https://www.aqualink.org/>

¹⁶¹ <https://fisheriesgroupcls.com>

¹⁶² <https://www.oceannetworks.ca/innovation-centre/smart-ocean-systems>

¹⁶³ <https://buy.garmin.com/en-US/US/shop-by-accessories/sensors/cAccessories-csensors-p1.html>

¹⁶⁴ <https://www.hohonu.io/>

公司致力于设计并制造低成本海洋传感器，并将通过提升海洋学仪器在广泛组织的可用性来推动这场革命。浮标网络在过去几十年里一直被用于海洋观测，而且大部分数据和分析工具都是公开的¹⁶⁵。

除了由传统的科研机构部署海洋传感器之外，研究人员对将渔船作为数据采集平台的兴趣日益浓厚。Berring 数据合作社（BDC）¹⁶⁶为渔船装备收集海洋数据的传感器和其他必要设备。传感器通常安装在渔具上，便于收集水体的垂直剖面数据。Berring 数据集合致力于将收集的数据提供给尽可能广泛的用户。这一方面的另一个例子是新西兰的 Moana 项目¹⁶⁷。项目于 2018 年启动，目的是应对气候变化，提高对沿岸环流、海洋连通性和海洋热浪的了解。项目还力求为支持海产品行业可持续增长提供信息。项目应用物联网概念，开发低成本海洋温度剖面测量仪，供渔业社区“随时部署在任何渔船”。项目的目标是采用先进建模技术和项目智能海洋传感器收集的数据开发新海洋环流模型，进而开发一个开放获取的海洋预报系统。这个基础广泛的多机构项目说明了这类渔业合作研究项目的潜在规模和重要性。



3.5 提升供应链透明度

海产品是全球贸易量最大的商品之一，供应网络从东南亚和南太平洋等主要生产区辐射至全球发达国家和发展中国家市场。这些复杂的供应链必然不是透明的，为篡改产品类型和特点、暗中交易非法和不报告渔获、掩盖奴工和童工现象提供了大量漏洞。提升供应链可追溯性可提高生产者打造产品差异化（尤其是通过获取 MSC 认证等

¹⁶⁵ <https://www.ndbc.noaa.gov/>

¹⁶⁶ <https://berringdatacollective.com/>

¹⁶⁷ <https://www.moanaproject.org/>

生态标签)¹⁶⁸的能力，增强消费者对产品来源的信心，提升运营效率，并提高以往没有特许经营权的小规模渔民的议价能力、合法性和福祉。

实现海产品供应链可追溯性涉及开发适用于复杂海产品供应链的全球数据架构和供应链过程。在海产品供应链中，产品形态可能在各个供应链节点发生变化（从整鱼到各种增值产品），运营过程涉及多种语言，并且涉及规模和技术能力迥然相异的大量公司（Bhatt 等，2016 年）。可追溯体系必须实现可互操作性，这在本质上意味着它须为供应链中的所有参与方提供无缝服务。相互联通的传感器是海产品行业可追溯性的规则改变者——许多目前已实施的可互操作系统都依赖于各种数字技术取得的最新进展，例如射频识别（RFID）标签、二维码和条形码，这些技术可利用实体标识符识别在供应链中移动的产品。这些数字标识符也促进了数据库系统的维护，这些数据库系统将在产品的整个生命周期内持续跟踪产品。其他技术则可在上岸点自动识别或测量数字形态的产品，从而便于在数据库系统中创建记录。例如，MER 顾问目前正在致力于为波多黎各渔业开发“智能计重秤”，自动鉴别和测量上秤的鱼类种群，并将这些数据与重量、时间和位置元数据集成起来¹⁶⁹。大自然保护协会的智能计重秤¹⁷⁰还可协助整合捕捞地点和时间数据与重量和体长等物理特征。将这些测量值链接至一个以条形码表达的唯一标识符，然后将数据存储于数据库中，随着产品在供应链流动更新相关数据。集成可追溯体系的另一个示例是 Dynamic Systems 推出的 Simba 系统¹⁷¹，该系统使用条形码跟踪产品从鱼类被捕捞的那一刻开始直至交付至零售商的完整过程。



¹⁶⁸ <https://www.msc.org/home>

¹⁶⁹ <https://www.seafoodandfisheriesemergingtechnology.com/session-1-resources>（“为小规模渔业开发智能计重秤和数据解决方案”）。

¹⁷⁰ <https://www.nature.org/ourinitiatives/urgentissues/oceans/future-of-fisheries/fishface-using-technology-to-change-the-way-fisheries-are-managed.pdf>

¹⁷¹ <http://dynamic-systemsinc.com/software/seafood/>

Vericatch Solutions¹⁷²等公司采用现有产品批号来构建可追溯体系，因此无需为在供应链中流动的产品添加实体标识符。Know your Fish¹⁷³是一款云技术支持的软件即服务（SaaS），允许供应链中的所有企业使用通用批号来跟踪产品。之后便可在销售点为消费者提供渔获来源信息以及其他教育资源。ThisFish¹⁷⁴是一项海产品可追溯性资源，为消费者提供一个追溯海产品来源的门户网站，其中包括关于产品的捕捞地点和时间、捕捞者和加工者的信息。该系统目前仅在北美和欧洲的少数渔业得到应用，目前正在进行进一步优化，重点关注利用平台来提高公司的运营效率。

最近，区块链技术也被用于开创一种跟踪和追溯海产品的新方法。区块链能够构建分布式数据库，这种数据库非常安全，网络中的所有人都可以访问，并且可以实时更新给系统中的所有门户和用户。在 2016 年开展的一个试点项目中，Provenance¹⁷⁵结合智慧鱼类标签和区块链技术，跟踪印尼渔民捕获的鱼类产品。世界自然基金会与区块链科技公司 ConsenSys¹⁷⁶和 TraSe¹⁷⁷携手在中西部太平洋渔业委员会辖区内开展了相关工作，他们开发了一个可追溯体系，利用射频识别标签来存储产品识别信息，并利用区块链技术来跟踪产品在区块链中的流动¹⁷⁸。这一方面的另一个示例由区块链驱动的市场平台 Release，它将购买者和出售者汇集在一个平台上，使每个人都能访问真实信息¹⁷⁹。这些项目证明了集中式数据管理系统并非可靠跟踪渔业产品的必要之举，并阐释了区块链技术在海产品行业的应用潜力。



¹⁷² <https://vericatch.com/>

¹⁷³ <https://vericatch.com/products/knowyourfish/>

¹⁷⁴ <http://thisfish.info/>

¹⁷⁵ <https://www.provenance.org>

¹⁷⁶ <https://consensys.net/>

¹⁷⁷ <https://www.traseable.com/tag/fisheries/>

¹⁷⁸ https://www.wwf.org.nz/what_we_do/marine/blockchain_tuna_project/

¹⁷⁹ <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/07/12/2060937/0/en/Release-Is-Transforming-The-World-s-Agriculture-fisheries-Logistics-Through-Its-Blockchain-Powered-Social-Commerce-Platform.html>

可追溯体系的未来在于持续整合更多不同类型的信息。许多大型公司已采用各种企业资源计划（ERP）系统来提高运营效率，而这些系统也越来越多地用于面向消费者的可追溯性目的。总体而言，目前在将监管信息和需求（例如配额分配和许可）整合至执行可追溯性功能的数据管理系统方面具有巨大潜力。

目前也有多个组织专注于通过协同行动提高海产品供应链的可追溯性。海产品可追溯性全球对话平台（GDST）¹⁸⁰是一个全球性组织，目标是推进构建一个全球统一的可追溯性框架。海产品可追溯性全球对话平台专注于制定互操作性行业标准，希望利用这些标准促进复杂的全球海产品供应网落实现普遍可追溯性。海产品合法性和可追溯性联盟（SALT）¹⁸¹为全球供应链利益相关者社群提供了一个合作平台，以提高全球海产品供应的合法性和可追溯性。

3.5.1 减少海产品欺诈

目前许多公司都在致力于提高消费者和零售商对它们出售的产品的信心。例如，Trufish¹⁸²提供 DNA 检测服务，以避免贴错标签。Trufish 是一项年度订阅服务，定期随机抽选一定数量的海产品样品进行 DNA 检测，以验证物种身份。Verifik-8¹⁸³则提供数据分析服务，以提高渔业对可持续实践的认识。Verifik-8 将生产者与购买者关联起来，以降低运营风险，并试图在供应链上下游建立信任。Verifik-8 可识别供应链中的环境和社会风险，协助企业遵守进口市场的监管要求，并满足消费者对负责任采购的需求。BackTracker¹⁸⁴是一个海产品电子追溯和验证平台，可对照政府采集的官方上岸量数据核查供应链信息。BackTracker 对照原始渔船批次或上岸信息对购买的海产品进行第三方验证。随着产品在供应链中移动，使用 BackTracker 的参与者可以对照政府官方上岸记录验证鱼种、渔船、渔区、上岸港口和渔获量等关键产品属性。BackTracker 中的所有数据都经过加密，因此，用户可以决定共享哪些数据，以及哪些数据继续保密。

3.5.2 采购负责任海产品

了解海产品的来源变得越来越重要，一方面是因为消费者的健康和环保意识日渐增强，另一方面是因为供应链活动受到越来越多的公众监督¹⁸⁵。遵守可持续发展和劳动法最佳实践（并且获得相关标签证明）的产品可在一些市场获得溢价，并且对于一些主要的零售连锁店，这些标准是将产品列入库存清单的先决条件。2017 年，金枪鱼

¹⁸⁰ <https://traceability-dialogue.org/>

¹⁸¹ <https://www.salttraceability.org/>

¹⁸² <https://www.indiegogo.com/projects/trufish#/>

¹⁸³ <https://www.verifik8.com/>

¹⁸⁴ <http://www.backtrackerinc.com/>

¹⁸⁵ <https://www.fisheries.noaa.gov/international/international-affairs/forced-labor-and-seafood-supply-chain>

产业的 60 多家主要参与者签署了《2020 年实现金枪鱼可追溯性宣言》¹⁸⁶，承诺仅从承担社会和环境责任的生产商手中采购金枪鱼。宣言还要求，到 2020 年，所有产品都可追溯至具体捕捞渔船。目前，公司和供应商也能获得更多信息来支持负责任的采购决策。这方面的一个例子是 **FiseryProgress**¹⁸⁷ 平台，鼓励增强渔业改进项目（FIP）报告的一致性，并提高用户对全球成功渔业改进项目的信心。

目前，为提高公众对环境和供应链问题的认识而开展的工作正在增加。MSC 认证或 OceanWise（海洋智者）¹⁸⁸ 标签等生态标签可以向购买者证明，他们购买的海产品是经专家认证的可持续产品。**Seafood Safe**（海产品安全）¹⁸⁹ 等其他标签则向消费者保证，他们购买的海产品的汞和其他环境污染物超标风险较低。NOAA 运行的 **FishWatch**（鱼类监察）数据库¹⁹⁰ 为消费者提供美国 50 多种常见鱼类资源的可持续性信息。其他相关工作包括组织小规模生产者提高公众对海产品供应问题的认识——**Local Catch**（当地渔获）网络¹⁹¹ 表明，由渔民、厨师和其他供应链参与者组成的积极实践社区可以成为推动可持续发展和增加当地小规模渔民效益的有力工具。这项技术非常有效，并且并不复杂，由一个网页组成，提供丰富的教育资源和一个将购买者与出售者关联起来的海产品搜寻地图，以及其他多种多样的资源¹⁹²。另一个示例是 **Oyster Common**，这是一个由人工智能驱动的本地海产品市场，通过虚拟鱼贩将渔民与餐厅和消费者关联起来¹⁹³。

3.5.3 跟踪小规模海产品

关于 MSC 认证等生态标签的一个主要担忧是，渔业，尤其是发展中国家的小规模渔业，往往难以达到相关认证要求。可能的原因包括这些渔业缺少实现可持续渔业管理需要的机构能力，或者小规模渔业的经济性不足，导致监测成本远远高于渔业价值。**Pelagic** 数据系统的船舶跟踪系统（VTS）¹⁹⁴、**Zunibal** 的船舶跟踪器¹⁹⁵ 等价格低廉的小规模跟踪器可协助推进合法化小规模渔民。但是，许多小规模渔业甚至无法负担廉价的追踪器。在这些情况下，智能手机往往是协助跟踪海产品的唯一选择（**Leape** 等，2020 年）。**Abalobi**¹⁹⁶ 等应用程序是专为小规模渔民设计的。**Abalobi** 的追溯能力完全是

¹⁸⁶ <https://www.weforum.org/agenda/2017/06/tuna-2020-traceability-declaration-stopping-illegal-tuna-from-coming-to-market/>

¹⁸⁷ <https://fisheryprogress.org/>

¹⁸⁸ <https://seafood.ocean.org/>

¹⁸⁹ <https://www.ecofish.com/products/海产品 safe.htm>

¹⁹⁰ <https://www.fishwatch.gov/>

¹⁹¹ <https://localcatch.org/>

¹⁹² <https://finder.localcatch.org/>

¹⁹³ <https://oystercommon.com/>

¹⁹⁴ <https://www.pelagicdata.com/solutions/hardware>

¹⁹⁵ <https://zunibal.com/en/product/vessel-tracer-solar-ivms/>

¹⁹⁶ <http://abalobi.info/>

通过其智能手机应用程序和一个在线平台实现的，并且能够有效追溯海产品从上岸点到最终消费者的完整过程。Abalobi 可以生成一个面向消费者的二维码，扫描二维码便可查看关于其购买的产品的更多信息，协助为消费者提供教育资源，并实现产品差异化。将小规模渔民纳入国际供应链可促进经济增长，而将其纳入国内市场则可加强粮食安全和福祉，因此，需要进行权衡取舍，尤其是在设计渔业改进项目等干预措施时。

在执法力度不够的小规模渔业，必须鼓励渔民收集可促进渔业管理和可追溯性的信息，FishCoin¹⁹⁷应运而生。FishCoin 构建了一个机制，使海产品买卖双方能够协商渔获数据和可追溯性数据的价值，并支付相关费用。FishCoin 的实用型通证是这一区块链平台的基础，可在应用程序内购买，用于交换供应链中的数据，然后在兑换移动数据充值等奖励后销毁。尽管 FishCoin 系统并不会验证数据准确性，但它可以帮助建立信任，因为购买者为不准确的数据付费，创建不可篡改的记录，然后利用质量平衡和其他三角测量法来验证数据的真实性没有任何意义。FishCoin 是一个基于开源区块链的生态系统，与基于协议构建应用程序的开发人员共享因利益相关者交易信息产生的手续费。此外，FishCoin 还建立了多个机制，让渔民和农民担任可追溯性业务的股东，为他们创造未来收入，并为政府提供税收收入，以加强渔业研究、监测、合规和监督。

3.6 数据集成和管理

集成多种类型和不同来源的数据，解读之前难以处理的大规模数据集可以提高数据分析能力，为增进我们对海洋生态系统的了解，改进海洋生态系统管理提供了重大机会。将渔业数据采集范式转变为电子报告可能是促进应用数据科学和知识创造新进展的最重要步骤。虽然纸质表格已在发达渔业中被逐步淘汰，整体而言，它们仍然是常态。此外，目前仍有大量渔业数据保存在各种纸质和数字档案（数据“孤岛”）中，并未用于管理或其他用途。此外，全世界渔业存在的一个关键数据缺口是缺乏能够描述资源状况或捕捞船队活动的长期数据序列。将纸质数据有效地转换为电子记录可以建立关于渔获物、捕捞努力量和体长组成的时间序列数据，以改进渔业资源评估和优化渔业统计数据。

另外一个迫切需求是创建经过改进的数据管理系统，以迅速更新数据、促进并简化数据可视化、展示与管理目标和限值有关的渔业绩效指标值。为渔业管理者提供基于数据生成的见解——而非仅提供数据——可以帮助缩小与科学渔业管理之间的差距，尤其是在生成这类见解的机构能力有限的情况下。

¹⁹⁷ <https://fishcoin.co/>

能够简化数据录入、质量保证和可视化，促进实时状态评估的标准化数据录入和管理系统是适应型科学渔业管理的黄金门票。考虑到气候变化对渔业造成的前所未有的影响，适应型科学渔业管理的重要性日益突显（Burden 和 Battista，2020 年）。开发一个规定测量参数、单位和频率的标准协议将提高数据管理系统的效率。基于云计算的系统可以允许多个用户连续录入数据，并对数据进行虚拟备份，并且可以访问强大的统计和分析工具。云计算毋庸置疑将成为未来（以及当前许多）数据管理系统的支柱。

在过去十年里，海洋数据量和数据类型都出现了爆炸式增长。虽然特定数据流的采集工作往往是由一方利益相关者推动的，但这些不同的数据流对各方都有巨大潜在价值。在大多数情况下，这些潜在价值并未得到实现，但有迹象表明，数字海洋生态系统正在蓬勃发展。这种新兴范式目前已有多个示例，包括应用机器学习技术分析大量、多元海洋数据以改进环境的 Sinay¹⁹⁸。Sinay 使用来自 6000 多个数据源的数据来防止环境危害，提高公司运营效率。更精确的天气预报也让航运公司受益良多，这是通过采用复杂算法，利用多个来源的数据实现的。水产养殖场经营者则受益于更精确的、预报模型，这些模型可通过综合多种数据类型，提前预警海虱感染。科学家们目前已经搭建多个强大的集成网络（例如，NeXOS¹⁹⁹）。NeXOS 是由来自政府、公共、私人 and 科学届的 21 个合作伙伴联合开发的开源软件，可实现实时数据传输和数据分析。Gybe²⁰⁰开发的算法可结合传感器收集的实时数据与卫星遥感图像，从远程改进自适应水资源管理。

对于渔业而言，加强集成和使用多种类型的数据将引领我们进入渔业管理和捕捞方法的新范式。在历史上，出海的渔民无法获得海洋学、市场和其他实时数据来支持他们决定捕捞地点和时间，现在这种情况正在发生改变。虽然管理者往往缺少在动态管理中实现类似改进需要的数据流和决策支持工具，新数字海洋生态系统和数据网络改进将推动渔业管理者设计和实施法规的方式发生重大变化。这一方面的一个示例是《瑙鲁协定》缔约国（PNA）推出的渔业信息管理系统（iFIMS）。这个系统集成了许可和注册、渔获和活动信息等多层数据，协助《瑙鲁协定》缔约国管理者近乎实时地跟踪船舶活动（Bradley 等，2019 年）。

3.6.1 改进捕捞作业

在渔业管理中整合先进数据管理系统的案例仍然较为罕见（Leape 等，2020 年），

¹⁹⁸ <https://sinay.ai/en/>

¹⁹⁹ <http://www.nexosproject.eu>

²⁰⁰ <https://www.gybe.eco>

但这一情况正在发生转变。目前已有一些利益相关方提议全面改变渔业数据的管理方式。例如，Bradley 等（2019 年）提出了一种新的数据管理模式，赋权渔民和管理者收集、访问、共享渔业数据，并从中受益。科德角商业渔民协会设定了以下目标：改变关于数据使用的现有叙述，设计一个系统，使渔民能够访问和利用他们的数据来改进业务决策，同时允许科学家访问必要数据，以支持科学管理决策²⁰¹。

Ecocast²⁰²是一个在线平台，利用集成目标渔获物和兼捕渔获物历史信息的近实时海洋学变量信息，确定在不同区域捕捞不同鱼种的概率。TurtleWatch²⁰³则是一张地图，提供关于夏威夷群岛以北太平洋的红头龟栖息地热特性的最新信息。DOLFIN²⁰⁴是伍兹霍尔集团开发的一个商业智能平台，可集成具体公司的日志和 VMS 数据与海洋数据。DOLFIN 采用机器学习来确定最感兴趣的相关性，然后利用这些关联关系支持渔民决定捕捞位置和时间。减少搜索目标鱼种的时间可提高渔获率和节省燃料，这是 DOLFIN 系统的关键优势。日本海洋科学技术中心（JAMSTEC）²⁰⁵为青森县的鱿鱼渔业开发了一个渔情预报系统，其理念是，向渔民告知鱿鱼在渔场中的可能位置可以减少燃料消耗量（Leape 等，2020 年）。这个项目大获成功，之后被私营企业收购。SeaState²⁰⁶是一家存在已久的公司，为白令海狭鳕渔业和西海岸牙鳕渔业的渔民提供配额跟踪服务。SeaState 绘制捕捞船队中各艘渔船提供的渔获量和兼捕渔获数据，并帮助船队确定捕捞位置，以便最大限度地减少兼捕。

大型渔业公司也开始抓住数据工具对其业务运营的价值。例如，挪威阿克海洋生物公司²⁰⁷采用机器学习技术，通过分析多个数据流（包括来自卫星的天气状况和海洋学信息，实际渔获物信息）来预测可能存在磷虾群的位置，并帮助渔船显著缩短搜索时间。阿克海洋生物公司还使用这些数据来优化加工厂和船舶运营，利用船载传感器的数据来优化燃油效率²⁰⁸。越来越多的渔民也开始使用无人飞行器来最大化搜索效率。例如 Tunadrone²⁰⁹是一种可直接在船舶上发射和回收的固定翼无人机，可用于探测金枪鱼群。秘鲁最大的渔业公司 TASA²¹⁰订购了康斯伯格海事公司（Kongsberg Maritime）配备宽带声学回声探测仪 Sounder 无人水面艇²¹¹，目标是协助公司的 48 艘渔

²⁰¹ <https://em4.fish/wp-content/uploads/2020/02/2019-Digital-Public-Report-1-Fisherman-First-Data-Ecosystem.pdf>

²⁰² <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/ecocast/>

²⁰³ <https://www.fisheries.noaa.gov/resource/map/turtlewatch>

²⁰⁴ <https://fisheriesgroupcls.com/fishermen/fisheries-intelligence/>

²⁰⁵ <https://www.jamstec.go.jp/teams/e/kichiji/index.html>

²⁰⁶ <https://acct.seastateinc.com/>

²⁰⁷ <https://www.akerbiomarine.com/>

²⁰⁸ <https://www.seafoodsource.com/news/supply-trade/precision-fisheries-of-the-future-will-rely-on-data-and-ai-to-improve-profits>

²⁰⁹ <https://www.marineinstruments.es/products/tunadrone/>

²¹⁰ <https://www.tasa.com.pe/acerca-de-tasa-acerca-de-tasa-en.html>

²¹¹ <https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/news-and-media/news-archive/2019/perus-largest-fishing->

船搜寻鳀鱼群，并优化捕捞作业。



3.6.2 利用海洋数据生态系统创造新价值

新技术正在改进捕捞作业，促进实现动态海洋管理，改善消费者与渔民之间的关联关系，有效利用现有机制创造价值。但是，渔民在未来 50 年内获得的大部分价值必然是通过目前尚未成熟的机制产生的。为实现这一愿景迈出的第一步是加强海洋数据共享。例如，一个新的海洋数据联盟将公司、科学和环保人士汇集在一起，构建一个开源平台²¹²，促进共享海洋数据（世界经济论坛，2017 年）。NOAA 于 2015 年推出大数据项目（BDP），目的是提高数据资源的可访问性和可用性，这个项目本质上是一个实验，可以确定利用之前的“孤立”数据可以创造什么价值（Vance 等，2019 年）。大数据项目是 NOAA 与云计算领域的五大巨头（包括亚马逊 AWS、谷歌和微软）联手推出的合作项目。这些重要举措强调数据广泛共享和利用，正在为构建未来新数据范式奠定基础。

气候变化仍然是海洋领域技术创新的推动因素。目前，渔业可以利用质量更好、成本更低的传感器，实时联通性和大数据工具来识别气候变化趋势，因此预警系统可以向渔业和海洋管理者警示潜在危机（世界经济论坛，2017 年）。气候变化将推动海洋管理转变为更具适应性、更敏捷的模式，例如动态禁渔。健康的数据生态系统是实现这些转变的基础。预警、预测和观测系统（SAPO）²¹³是一项新举措，旨在协助我们深入了解不断变化的环境对洪保德海流生态系统产生的影响。数据采集是这个项目的

companyfirst-to-order-flexible-new-sounder-usv-from-kongsberg/

²¹² <https://www.oceandata.earth/>

²¹³ <http://blogs.edf.org/edfish/2020/10/06/in-south-americas-humboldt-current-this-collaboration-to-build-more-climate-resilient-fisheries-brings-together-two-great-fishing-nations/>

关键环节，但是，最具影响力的进步必然是开发新方法，利用新数据工具来确定渔业变化的预测因素。

随着越来越多的海洋资源使用者开始争夺海洋空间，海洋空间规划和动态海洋管理将成为行业讨论的主要内容。海水养殖业规模不断扩大，正在受到越来越严格的环境绩效审查。这必然将增加对海洋信息的需求——协助进行初步选址或废水监测——但也可以提供信息。水产养殖基础设施可以轻松装备海洋和其他传感器，并且可以融入海洋数据生态系统。未来非常明朗——来自更多来源、类型更多样的更多数据将以更多我们尚不知晓的方式创造更多价值。





Photo by Carlos Aguilera

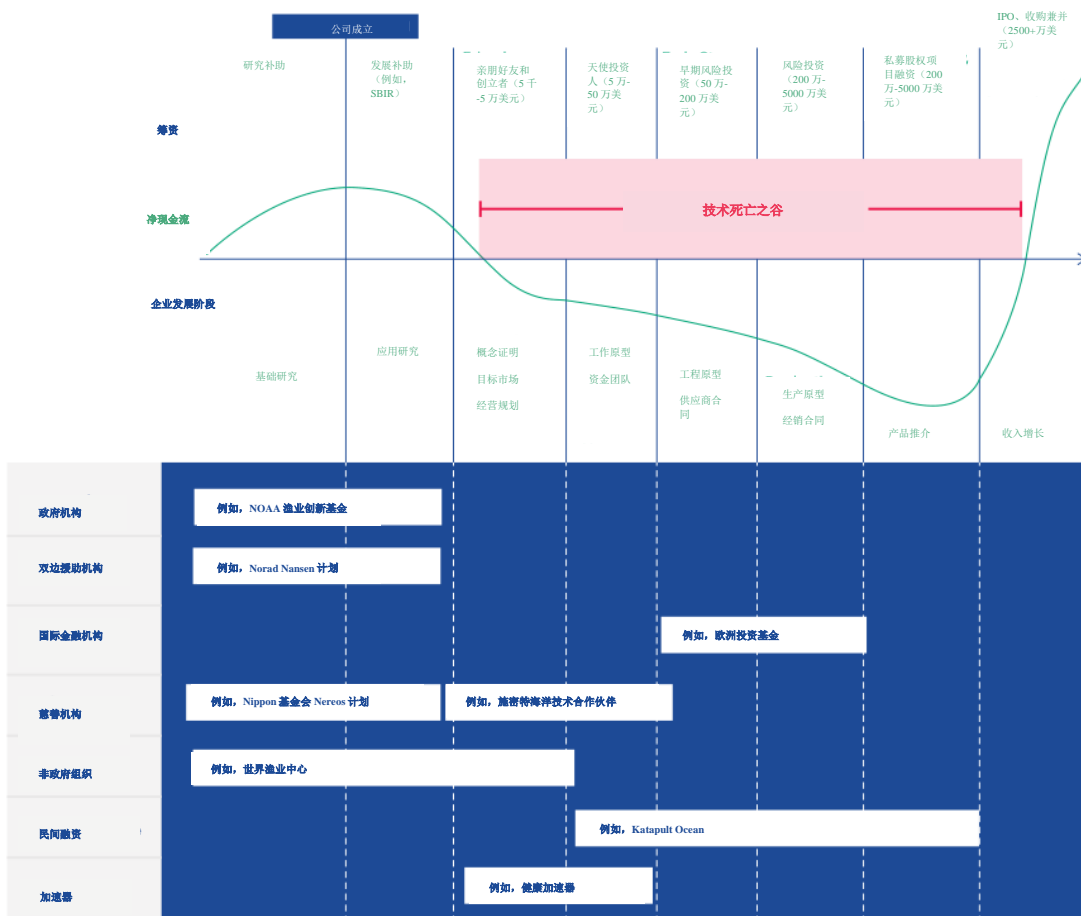
4. 海洋技术筹资环境

本节介绍渔业和海洋技术筹资环境的当前和未来趋势。各种各样的组织在渔业和海洋技术供资或融资方面发挥着重要作用，本节试图概述各类组织发挥的作用，以及这一分类学下特定组织发挥和可能发挥的作用。通过回顾灰色文献，我们向来自基金会、非政府组织、投资基金、科技公司、研究组织、政府间和多边机构以及技术加速器的 72 位从业者发送调查问卷，以了解他们在资助渔业和海洋技术或者接受资助方面的印象和经验。我们共收到 28 份回复，回复率为 39.4%（表 4.1）。在综合这些信息之后，我们进一步以访谈形式采访了 15 位专家。本节概述调查结果，也是我们的灰色文献综述、问卷调查、访谈和个人通信的高级别总结。

表 4.1 问卷调查和访谈受访者汇总表

出资人/资金类别	初始清单中的数量	回复问卷调查		访谈	
		美国机构	非美国机构	美国机构	非美国机构
非政府组织	14	4	6	3	1
投资基金	10	3	0	1	0
基金会	17	7	0	1	0
科技公司	15	3	2	1	1
研究组织	4	2	0	1	0
政府间和多边机构	2	0	0	1	0
加速器和其他	10	1	0	4	1
总计	72	20	8	12	3

图 4.1 渔业和海洋技术的融资来源分类及相应风险投资发展阶段



注：按融资生态位分布的筹资渠道，描绘了私营、营利性公司筹资渠道的净现金流量。在本报告中，本图表适用于以渔业或海洋为重点的新兴科技公司。死亡之谷原图来自加州大学戴维斯分校创业中心，我们使用蓝色文本框对原图进行了修改。（资料来源：绿色科技媒体）

4.1 筹资渠道

在渔业和海洋技术筹资环境中发挥作用的供资和融资机构可分为八个类别：

1. 政府机构
2. 双边援助机构
3. 国际金融机构
4. 多边机构
5. 慈善机构
6. 非政府组织
7. 私人融资
8. 技术加速器

在本报告中，上述各类机构被统称为**出资人**。但是，供资和融资的一个重要区别

是，出资人通常并不追求投资收益，但融资人会。慈善机构、非政府组织出资和政府补助视为供资，而开发银行、加速器和投资基金的投资则视为融资。此外，一些组织也会向政府或其他实体提供贷款以推进与渔业技术有关的项目，但并不会直接为营利性公司提供融资。例如，世界银行可能为印度政府提供贷款，协助其使用遥感技术作为预测工具来监测底层渔业资源。印度的相关政府机构随后可能发布需求建议书（RFP），以寻找一家科技公司来负责项目。国际金融机构、双边援助机构和其他多边机构可以通过这种方式间接为处于不同发展阶段的科技公司提供资金。

其他出资人则为营利性科技公司的发展和研发工作提供直接资金支持。这类出资人包括加速器、慈善机构、非政府组织和民间金融，不同类别的出资人往往重点关注处于特定发展阶段的公司（图 4.1），尽管同一类别内的机构之间也存在差异。海洋技术的大多数资金来源的最终目标都是促进海洋资源可持续利用和保护受到威胁的生态系统和社区，但是一些出资人在本质上更侧重于运用技术来实施解决方案，而另一些则专注于以政策和教育为重点的项目。本节总结各类出资人的重点领域、参与模式和核心活动。

4.1.1 政府机构

政府机构主要是以机构拨款的形式提供以技术为重点的资金，这是一种不追求收益的公有资本（De Vos 等，2020 年）。联邦政府通常将拨款责任下放给支持特定经济领域的特定政府机构。例如，菲律宾渔业与水产资源局（BFAR）²¹⁴负责监管渔业和水产养殖业，还负责分配渔业和海洋领域的政府拨款。菲律宾渔业与水产资源局还与其他政府机构合作，帮助菲律宾国内渔业项目获取国际支持。各国渔业机构通常重点关注渔业资源评估——丰度和生产力估算，以及数据集成与渔获量和捕捞努力量核算。大多数政府机构仅为国内项目提供资助，但也有一些政府机构会参与具有全球或地区影响的项目。例如，美国政府经常向非美国科技公司提供政府补助金，以支持其开发先进渔业监测技术。政府机构在支持具有重要社会和经济价值，但可能无法立即盈利的项目方面发挥着重要作用，而且，考虑到政府补助金可以降低投资风险，政府机构通常会与私营部门合作，以扩大项目的影响规模。

政府拨款是海洋技术项目可以获取的规模最大的不追求收益的资本，但是，与其他领域相比，美国海洋和渔业技术项目的专用公共资金水平仍然相对较低。美国当前的年度研发总支出约为 1250 亿美元，其中只有不到 20 亿美元的资金被分配给海洋科学（Leape 等，2020 年），而且，美国的海洋技术联邦资助整体一直呈下降趋势。然而，

²¹⁴ <https://www.bfar.da.gov.ph/>

在渔业和海洋技术发展领域，也有一些令人瞩目的资金来源发挥着关键作用。例如，美国国家鱼类和野生动物基金会与 NOAA、翠鸟基金会和沃尔顿家族基金会携手成立了渔业创新基金²¹⁵，目的是支持与渔业创新、电子监控和电子报告相关的项目。政府资助往往在技术和相关过程的早期研发阶段发挥关键作用，这也是政府资助饱受批判的一点——政府资金往往不能为这些技术的未来扩展、增长和实施开辟跑道（经合组织，2019年）。表 4.2 列出了一些活跃在海洋技术领域的知名政府机构。



²¹⁵ <https://www.nfwf.org/programs/fisheries-innovation-fund>

表 4.2. 为海洋技术提供资金的知名政府机构

<p>美国国家海洋和大气管理局 (NOAA)</p>	<p>NOAA 与国家海洋渔业局 (NMFS) 负责联邦政府的所有海洋和大气资助计划, NMFS 还负责渔业管理和联邦渔业法规实施²¹⁶。</p> <ul style="list-style-type: none"> • NOAA 利用 Saltonstall-Kennedy 补助计划 (SK 补助金)²¹⁷和减少兼捕工程计划 (BREP)²¹⁸等研究计划划拨资金, 支持渔业可持续发展创新。 • NOAA 与美国国家鱼类和野生动物基金会 (NFWF)²¹⁹合作管理渔业创新基金, 其中包括一项电子监控和电子报告补助计划²²⁰。NOAA 将这个补助计划作为一个平台, 积极与渔民、各州机构和其他利益相关者合作, 整合数据采集技术, 并简化数据使用和管理。补助计划的目标是“提高渔业相关数据的质量、数量和及时性”。
<p>欧洲渔业控制局 (EFCA)</p>	<p>EFCA²²¹是欧盟系统内参与渔业管理应用技术研发的机构。</p> <ul style="list-style-type: none"> • EFCA 致力于开发促进欧盟成员国共享数据的信息系统。 • EFCA 的溯源技术协助欧盟实施渔获物丢弃禁令。 • EFCA 通过建立渔业活动监测系统, 协调成员国活动, 并为成员国提供培训。 • EFCA 还通过制定共同渔业政策参与国际工作, 主要侧重于打击 IUU 捕捞行为。
<p>渔业部 (新西兰)</p>	<p>新西兰渔业部设立了一个采用技术推动渔业可持续发展的部门²²², 并推出了一项新渔业变革计划 (FCP)²²³。</p> <ul style="list-style-type: none"> • FCP 确定了三大重点领域: 1) 实施强制电子渔获和位置报告, 2) 简化和改进捕捞政策, 3) 使用船载摄像机等技术增强监测和验证能力。 • 新西兰渔业部为新兴渔业技术提供支持, 推动使用电子监控等电子工具来实施配额管理系统。
<p>澳大利亚渔业管理局 (AFMA)</p>	<p>AFMA²²⁴监测和管理澳大利亚水域的商业捕捞活动, 并为澳大利亚渔民提供服务。AFMA 支持应用渔业监测技术, 帮助渔民遵守法规。相关活动包括:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 为渔民提供的服务: 包括提供日志和表格、GoFish²²⁵配额和注册系统, 以及其他配额管理工具。 • 渔业管理: 包括管理手册、关于捕捞方法和渔具的信息以及其他针对特定渔业和鱼种的管理信息。 • 协助渔民遵守规则和法规: 包括国内和国际渔业合规。 • 环境研究: 包括旨在减少兼捕、改进捕捞策略、设计生态风险管理策略和改进受保护物种管理的科研活动。
<p>菲律宾渔业与水产资源局 (BFAR)</p>	<p>BFAR 是菲律宾负责开发、改进、管理和养护渔业和水产资源的政府机构, 它的职责包括:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 制定并实施国家渔业发展计划。 • 颁发渔船许可和登记商业渔民。 • 建立和维护一个综合渔业信息系统²²⁶。 • 为渔民和渔业提供咨询服务和技术援助。 • 制定促进鱼类资源养护和管理的规则和法规。
<p>智利国家渔业与水产养殖局 (SERNAPESCA)</p>	<p>智利国家渔业与水产养殖局²²⁷是一个公共机构, 隶属于智利经济、发展和旅游部。SERNAPESCA 的目的是监测渔业、水产养殖和环境卫生法规的合规情况。</p> <ul style="list-style-type: none"> • SERNAPESCA 负责执行智利的国家渔业政策。 • SERNAPESCA 负责机构能力建设, 并积极探索如何运用技术促进渔业监测。

²¹⁶ <https://www.fisheries.noaa.gov/>

²¹⁷ <https://www.fisheries.noaa.gov/grant/saltonstall-kennedy-grant-program>

²¹⁸ <https://www.fisheries.noaa.gov/national/bycatch/bycatch-reduction-engineering-program>

²¹⁹ <https://www.nfwf.org/>

²²⁰ <https://www.nfwf.org/programs/fisheries-innovation-fund?activeTab=tab-3>

²²¹ <https://www.efca.europa.eu/en>

²²² <https://www.mpi.govt.nz/fishing-aquaculture/sustainable-fisheries/>

²²³ <https://www.mpi.govt.nz/fishing-aquaculture/commercial-fishing/fisheries-change-programme/>

²²⁴ <https://www.afma.gov.au/>

²²⁵ <https://ebusiness.afma.gov.au/>

²²⁶ https://www.bfar.da.gov.ph/about_us.jsp?id=70

²²⁷ <http://www.sernapesca.cl/english>

4.1.2 双边援助机构

许多国家通过国家机构提供发展援助等公共资金，这些资金被称为双边援助。如果机构的绝大多数项目主要针对个别国家，则其属于双边机构，尽管它们也可能开展一些多边（区域）项目。美国国际开发署（USAID）²²⁸就是一个典型的双边援助机构，已开展多个针对特定国家的援助和发展计划，但它也实施了多个多边计划，例如海洋与渔业伙伴关系（OFP）²²⁹。双边援助通常采用赠款形式，并且往往聚焦重大挑战，例如改善空气质量，以及改善教育或基础设施等公共产品的分配（De Vos 等，2020年）。美国国际开发署和日本国际协力事业团（JICA）²³⁰等双边发展机构属于政府机构，目的是协调发展援助，促进发展中国家的经济和社会发展，并促进国际合作。这些机构实施的海洋计划通常旨在支持渔业可持续发展，包括开发或测试海洋技术。表 4.3 总结了一些知名双边援助机构开展的活动。

表 4.3. 知名双边援助机构

美国国际开发署 (USAID)	<p>USAID 的海洋计划通过海洋与渔业伙伴关系（OFP）²³¹和推动生态系统可持续发展（SEA）²³²项目直接支持渔业技术。</p> <p>OFP 迄今为止已投入 2500 万美元用于加强电子渔获登记和可追溯性（eCDT），促进渔业可持续发展和保护亚太地区海洋生态系统生物多样性。</p> <p>SEA 项目是一个五年项目（2016-2021 年），目的是促进印尼采用电子船舶注册系统。</p> <p>USAID 会根据时任政府的重点发展领域调整援助战略。之前支持 OFP 计划的战略正在转变为新的印太愿景和战略²³³。新战略减少了对渔业关注，更关注民主治理体系、贸易、经济增长和安全。</p> <p>USAID 还将调整新伙伴关系倡议（NPI）²³⁴的重点，优先考虑接受联邦资助的小型初创企业，而非现有的大型联邦承包商。小型企业应用研究（SBAR）计划²³⁵是 NPI 框架下的一个实地计划，目的是扩大 USAID 获取美国小型企业开发的新兴技术、产品、服务和科学应用的机会。</p>
日本国际协力事业 团 (JICA)	<p>JICA 负责管理向发展中国家提供的发展援助。</p> <ul style="list-style-type: none">• 渔业计划围绕渔业资源管理、水产养殖发展和渔业价值链发展。• 除了在水产养殖领域推广日本先进技术之外，JICA 的行动还重点关注制定基于管理和政策的渔业可持续发展解决方案。

²²⁸ <https://www.usaid.gov/>

²²⁹ <https://www.usaid.gov/asia-regional/fact-sheets/usaid-oceans-and-fisheries-partnership>

²³⁰ https://www.jica.go.jp/english/our_work/thematic_issues/fisheries/index.html

²³¹ <https://www.usaid.gov/asia-regional/fact-sheets/usaid-oceans-and-fisheries-partnership>

²³² <https://www.sea-indonesia.org/>

²³³ https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/1861/Strategic-Approach-Indo-Pacific-Vision_Feb2020.pdf

²³⁴ <https://www.usaid.gov/npi>

²³⁵ <https://www.usaid.gov/SBAR>

挪威开发合作署 (Norad)

Norad236由挪威政府资助，隶属挪威外交部。

- Norad 负责执行“渔业促进发展”计划²³⁷，旨在通过加强粮食安全和促进可持续管理减少贫困。该计划可分为三个部分：
 - 研发：包括 Nansen 计划²³⁸，这是挪威政府和联合国粮农组织推出的双边计划。Nansen 计划派遣考察船来收集关于全球海洋和渔业状况的数据。
 - 业务拓展：协助拓展以水产养殖业为重点的可持续和盈利的业务。
 - 资源管理和立法。
 - Norad 为越南和纳米比亚等国家提供双边支持，以构建新的监管和法律框架，包括支持《生物多样性公约》²³⁹的框架。
 - Norad 支持南非和纳米比亚手工渔业的发展，并支持莫桑比克的国际农业发展基金。
-

4.1.3 国际金融机构

多边开发银行、区域开发银行和双边开发银行都是由多个国家供资，以支持经济增长和发展为目的的金融机构（De Vos 等，2020 年）。开发银行往往向各国政府而不是私营部门提供优惠贷款（低于市场利率），协助各国实现发展目标（De Vos 等，2020 年）。但是，许多国际金融机构也会提供赠款等不追求收益的资金。世界银行是规模最大的国际金融机构，也是许多区域开发银行的典范。

开发银行为难以获得商业投资资金的项目提供支持。它们倾向于为广泛经济领域提供投资，并支持方式多元、但主题相关的众多子项目。开发银行是海洋保育领域的重要资金来源，因为它们认识到，许多国家的海洋资源是其经济发展的重要基础（世界银行与联合国经济和社会事务部，2017 年）。随着各个开发银行开始更深入地参与推进联合国可持续发展目标，它们也开始更加关注渔业和水产养殖业（尤其是推进实现可持续发展目标 14）。但是，虽然开发银行已加大蓝色经济投资，它们往往是风险厌恶型投资者，因此不太可能为新兴技术提供资金支持。

发展金融机构（DFI）是一种资本结构与开发银行不同的国际金融机构，通常以低于商业银行的利率为中等收入国家的企业提供投资（De Vos 等，2020 年）。世界银行的附属机构之一国际金融公司（IFC）²⁴⁰便是一个发展金融机构。表 4.4 总结了一些知名国际金融机构的活动。

²³⁶ <https://www.norad.no/en/front/>

²³⁷ <https://www.norad.no/en/front/the-knowledge-bank/programmes-in-the-knowledge-bank/fish-for-development/>

²³⁸ <http://www.fao.org/3/a-i6039e.pdf>

²³⁹ <https://www.un.org/en/observances/biological-diversity-day/convention>

²⁴⁰ https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/corp_ext_content/ifc_external_corporate_site/home

表 4.4. 知名国际金融机构

<p>世界银行 PROBLUE</p>	<p>世界银行当前的海洋投资组合价值约为 56 亿美元。</p> <ul style="list-style-type: none"> 世界银行及其众多合作伙伴采用一种蓝色经济方法²⁴¹来促进海洋经济，并推动实现可持续发展目标 14，目的是“支持经济增长、社会包容、保护和改善生计，同时确保海洋和沿海地区的环境可持续性”。PROBLUE²⁴²于 2019 年 2 月获得批准，是世界银行在海洋领域推出的一个伞式多捐助方信托基金。PROBLUE 共有四个支柱，其中两个与渔业最为相关： <ul style="list-style-type: none"> 渔业和水产养殖：通过解决导致过度捕捞的根本原因推进渔业高质量发展，促进水产养殖业可持续发展。 海景管理：加强政府管理海洋资源的能力，包括基于自然的解决方案和动员私营部门融资。 世界银行资助项目的部分例子包括： <ul style="list-style-type: none"> 秘鲁国家渔业和养殖业创新项目²⁴³是世界银行支持的项目之一，项目重点支持渔业可持续发展和拓展海洋健康知识。项目的一个重要内容是为一个竞争性资助机制提供融资，以便为创新项目提供资金，每年提供的资金额为 500 至 2000 万美元。 马尔代夫的可持续渔业资源开发项目²⁴⁴旨在推进海水养殖和渔业高质量发展。该项目旨在通过开发关键渔业管理和规划工具以及其他能力建设来工作来提高政府监测渔业的能力。
<p>亚洲开发银行 (ADB)</p>	<p>亚洲开发银行 (ADB) 于 2019 年启动价值 50 亿美元的健康海洋计划²⁴⁵，着力推动渔业可持续发展。</p> <ul style="list-style-type: none"> 计划旨在通过赠款和支持降低投资风险，吸引更多私营部门投资蓝色经济。 虽然 ADB 并未直接投资于渔业技术，但它发挥了重要的机构能力建设作用，有助于构建一个促进技术采用的环境。
<p>欧洲投资银行 (EIB)</p>	<p>欧盟气候银行²⁴⁶隶属于 EIB，承诺在未来 5 年内为海洋项目（包括渔业）提供 25 亿欧元的资金，旨在为蓝色经济吸引 50 亿欧元的公共和私人投资。EIB 将投资私营部门，并重点关注欧盟内部投资。</p> <ul style="list-style-type: none"> 蓝色可持续海洋战略 (BlueSOS)²⁴⁷指引大部分海洋资金的分配。 欧盟气候银行重点支持多类项目，包括可持续海岸开发、海产品可持续生产、绿色航运和生物技术。 EIB 还制定了“蓝色经济可持续融资原则”²⁴⁸，为投资者提供海洋资源可持续利用指南。这些原则已获得联合国环境规划署的正式认可，并且是开发银行协助机构能力建设的范例。合作伙伴包括欧盟委员会、世界自然基金会和世界资源研究所。 <p>欧洲投资基金 (EIF) 是 EIB 的另一个分支机构，它与欧盟委员会合作推出了蓝色投资基金 (BlueInvest Fund)²⁴⁹。</p> <ul style="list-style-type: none"> EIF 的目的是拓宽欧洲中小企业的融资渠道，为它们提供支持。 EIF 坚持与风险投资基金、银行和小额信贷机构等其他出资人合作，构建混合资本结构。 EIF 是欧盟在欧洲促进创新、研发和创业的工具。

²⁴¹ <https://www.worldbank.org/en/topic/oceans-fisheries-and-coastal-economies#2>

²⁴² <https://www.worldbank.org/en/programs/problue>

²⁴³ <https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/project-detail/P155902>

²⁴⁴ <https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/project-detail/P157801>

²⁴⁵ <https://www.adb.org/sites/default/files/am-content/484066/action-plan-flyer-20190430.pdf>

²⁴⁶ <https://www.eib.org/en/about/priorities/climate-action/index.htm>

²⁴⁷ https://www.eib.org/en/attachments/thematic/eib_blue_sustainable_ocean_strategy_en.pdf

²⁴⁸ https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/befp_en

²⁴⁹ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_167

4.1.4 多边机构

多边机构由其成员国提供资金和负责运营，通常提供赠款等不追求收益的外部资金，但也会运营作为机构下设小组的内部资助项目（De Vos 等，2020 年）。另外，一些多边机构目前也在探索新的资金分配方式。例如，全球环境基金（GEF）开创性地推出了非赠款工具试点计划²⁵⁰，这是多边机构推出的同类首个计划。根据这一计划，全球环境基金已于 2019 年向 Meloy 基金（一个逐利性影响力基金）拨款 678 万美元²⁵¹。

成员国决定多边机构的重点挑战，并利用一个基于委员会的结构制定合作项目。多边机构可向各个项目分配集中资源，因此，很大一部分援助资金都是来自多边机构（De Vos 等，2020 年）。各个机构的工作重点取决于成员国的优先事项，有些机构投入大量精力来解决海洋和渔业面临的具体挑战。例如，联合国、经合组织和各个区域渔业管理组织（RFMO）尤其致力于加强海洋保育和促进渔业可持续发展。

联合国是规模最大的多边机构。联合国不仅设立了海洋与沿海区域网络（UN Oceans）²⁵²，还管理着粮农组织²⁵³和教科文组织²⁵⁴等组织。这些组织共同负责海洋技术的大部分机构资金，并支持蓝色经济。这些机构对旨在打击 IUU 和改进海洋观测的技术项目融资尤为感兴趣，尽管大部分项目的目的是推进实现联合国可持续发展目标。

²⁵⁰ https://www.thegef.org/sites/default/files/council-meeting-documents/16_EN_GEF_C_47_06_GEF-6_Non-Grant_Instrument_Pilot_and_Updated_Policy_for_Non-Grant_Instruments_1.pdf

²⁵¹ <https://www.thegef.org/news/innovative-finance-project-sustainable-fisheries-launched-leading-investors>

²⁵² <http://www.unoceans.org/>

²⁵³ <http://www.fao.org/home/en>

²⁵⁴ <http://www.unesco.org/>

表 4.5. 知名多边机构

<p>联合国 (UN)</p> <p>联合国粮农组织 (FAO)</p> <p>联合国教科文组织 (UNESCO)</p>	<p>联合国通过海洋与沿海区域网络计划、联合国粮农组织、联合国教科文组织和可持续发展目标 14 对促进渔业可持续发展产生广泛全球性影响。</p> <ul style="list-style-type: none"> 许多项目都是技术型项目，例如联合国反恐怖主义委员会执行局 (CTED)²⁵⁵使用卫星数据和开发全球海洋观测系统 (GOOS)²⁵⁶。 粮农组织一直致力于开发渔业技术，并促进开发包含渔获登记计划的 VMS 系统，以及支持渔业资源监测的全球云协作平台。
<p>经合组织 (OECD)</p>	<p>经合组织是一个政府间经济组织，成员国总数为 37 个。</p> <ul style="list-style-type: none"> 经合组织并未与其他多边机构一样直接为渔业技术提供财政支持，但是它发布的资源（包括关于制定知情政策决策的手册²⁵⁷或渔业双年度审核报告²⁵⁸）是促进渔业管理的有用量化资源，并且在全球渔业机构能力建设发挥着重要作用。
<p>全球环境基金 (GEF)</p>	<p>GEF²⁵⁹致力于解决地球目前面临的最大环境威胁。GEF 通过赠款提供资金，并参与诸多项目的共同融资。</p> <ul style="list-style-type: none"> GEF 的一个重点领域是国际水域²⁶⁰，GEF 致力于促进可持续捕捞活动和治理。该计划分为三个部分：加强各国蓝色经济、改善国家管辖范围之外的水域管理，提升淡水安全。 GEF 还为全球海洋商品可持续供应链项目 (GMC 项目) 提供资金支持²⁶¹，GMC 是一个由联合国开发计划署运营，重点关注能力建设的项目，包括两个部分： <ul style="list-style-type: none"> 第一部分是构建一个被称为“可持续海洋商品平台”的多利益相关者对话空间，以制定蓝色可持续发展政策。 第二部分是鼓励零售商和购买者参与支持渔业可持续发展改革。

4.1.5 慈善基金会

在过去十年里，慈善基金会已投入约 87 亿美元来促进渔业和海洋发展²⁶²，而且越来越多的海洋保育慈善资金来自个人慈善家。慈善基金会主要通过以下两种方式为项目提供资金支持：赠款和混合金融工具。采用典型赠款结构的基金会往往对与新技术直接关联的项目不太感兴趣，更倾向于参与以政策和管理为重点的解决方案。一些基金会的内部供资结构的投资组合和投资策略与典型影响力投资公司类似，更侧重于创新和技术型项目。在这些情况下，基金会通常会期望获得投资收益，并促进其资助的公司或产品实现可持续增长。

基金会通常以五年为周期来优化项目重点，并按照这一周期调整工作和投资重点。

²⁵⁵ <https://www.un.org/sc/ctc/page/2/>

²⁵⁶ <https://www.goosocean.org/>

²⁵⁷ https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/the-oecd-handbook-for-fisheries-managers_9789264191150-en

²⁵⁸ https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-review-of-fisheries-policies-and-summary-statistics-2017_rev_fish_stat_en-2017-en

²⁵⁹ <https://www.thegef.org/>

²⁶⁰ <https://www.thegef.org/topics/international-waters>

²⁶¹ <https://www.thegef.org/project/global-sustainable-supply-chains-marine-commodities>

²⁶² <https://fundingtheocean.org/funding-map/>

目前多个重要基金会都在关注渔获量和捕捞努力量核算，提升供应链透明度，而且其中许多项目都涉及打击 IUU 和侵犯人权行为。在研究过程中，我们发现关于渔业技术领域获得的基金会资金正在日益增长还是日益减少存在两种矛盾观点。一些受访者认为基金会始终对渔业和海洋技术保持兴趣，但其他人认为，基金会内竞争资源的投资重点和不断变化的投资偏好是导致资金水平波动和对技术型海洋解决方案兴趣有限的原因。新冠大流行也可能导致基金会重新调整投资重点。

表 4.6 知名慈善基金会

<p>戈登和贝蒂摩尔基金会</p>	<p>2004 年以来，摩尔基金会已向海洋倡议提供 3.2 亿美元的赠款，其中大部分资金被用于改进渔业管理系统。摩尔基金会的海洋和海产品市场计划（OSMI）²⁶³支持开发和实施加强美国和加拿大渔业透明度和问责制的技术解决方案。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2016 年，摩尔基金会宣布向 OSMI 及其他两个计划提供 9000 万美元，以消除食品生产的负面环境影响。 • OSMI 的核心目标包括调整系统条件，构建教育连续体，招募和吸引行业参与者。 • OSMI 倡议由 4 个合作伙伴组成：FishWise²⁶⁴、Future of Fish²⁶⁵、食品工艺学家学会全球食品可追溯性中心²⁶⁶和世界自然基金会。 • 各个参与组织合作创建详尽海产品可追溯性资源，其中一些资源更侧重于技术。例如，Future of Fish 的海产品行业可追溯性工具箱²⁶⁷包括 12 项工具和资源，可协助企业提高供应链可追溯性。
<p>大卫和露西派克德基金会</p>	<p>派克德基金会迄今为止已投入 16 亿美元用于研究和促进海洋健康。派克德基金会的一项全球战略是打击非法捕捞行为，这项战略是通过与 Oceans5（见下文）合作实施的。另一项战略则聚焦全球海产品市场²⁶⁸，旨在增加全球可持续海产品的市场需求，并减少非法、不报告和不管制海产品贸易。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 全球海产品市场战略包括三项战略计划：支持美国和日本的可持续海产品采购；制定可持续发展计划，放宽特定渔业的市场准入；促进对环境负责的渔业和水产养殖业。 • 派克德基金会还帮助提升各级供应链的透明度，从支持公共零售可持续发展承诺到开发促进公共消费的基于网络的项目进展平台。这些计划依赖于全链海产品溯源技术的开发和采用。
<p>沃尔顿家族基金会 (WFF)</p>	<p>WFF 在 2016 年至 2020 年间投入 2.5 亿美元来促进海洋保育。</p> <ul style="list-style-type: none"> • WFF 海洋倡议²⁶⁹的目标是终止印尼、秘鲁、智利、墨西哥和美国的过度捕捞，改善海洋健康和沿海社区生计。 • WFF 市场战略²⁷⁰旨在协助上面五个国家建立可追溯系统，并利用新兴技术消除 IUU 捕捞行为。 • 2021 年初，WFF 宣布了一项新的 2025 年战略²⁷¹，宣布了以环境为焦点的关键计划，重点关注推动创新以解决环境挑战，以及利用市场力量推进可持续发展。

²⁶³ http://futureoffish.org/sites/default/files/docs/resources/OSMI-traceability-collab-one-pager_1.pdf

²⁶⁴ <https://fishwise.org/>

²⁶⁵ <http://futureoffish.org/>

²⁶⁶ <https://www.ift.org/gftc.aspx>

²⁶⁷ <http://futureoffish.org/resources/grids/seafood-industry-traceability-toolkit>

²⁶⁸ <https://www.packard.org/wp-content/uploads/2017/02/Global-seafood-Markets-Strategy-2017-2022-EXTERNAL.pdf>

²⁶⁹ <https://www.waltonfamilyfoundation.org/our-work/environment/oceans>

²⁷⁰ <https://www.waltonfamilyfoundation.org/about-us/newsroom/walton-family-foundation-outlines-seafood-markets-strategy>

²⁷¹ <https://www.waltonfamilyfoundation.org/strategy2025#environment>

橡树基金会

橡树基金会²⁷²在 2016 年至 2020 年间投入 1 亿美元来支持海洋保育项目。橡树基金会推出的倡议包括小规模渔业和工业渔业计划。

- 小规模渔业（SSF）计划侧重于改善渔业治理和提高计划知名度。SSF 计划支持致力于提高计划在全球发展议程中的知名度的当地组织，并确保小规模渔业的治理改革得到充足资金支持。
- 工业渔业计划致力于通过改进渔获登记来打击非法捕捞行为。虽然并未明确将技术干预作为一项目标，但技术干预是确保倡议成功加强国际渔业法规和政策的重要要素。

彭博慈善基金会

彭博慈善基金会²⁷³自 2014 年起已投入 1.39 亿美元来推进活力海洋倡议²⁷⁴。

- 活力海洋倡议的工作覆盖 10 个国家。
- 彭博慈善基金会一直积极参与全球渔业观察平台，并与其他机构合作推出一个大型海洋数据项目，以协助确定渔业挑战²⁷⁵。

Oceans5

Oceans5²⁷⁶是一个由致力于保护世界海洋的慈善家组成的“国际出资人协作项目”。Oceans5 偏好时限性项目，并侧重致力于终止过度捕捞或设立海洋自然保护区的项目。Oceans5 目前正在推进 13 个与渔业技术有关的项目，并且对遥感和电子监控技术的应用尤为感兴趣。

- Oceans5 支持印尼 Kemitraan 伙伴关系²⁷⁷，协助近 4000 艘商业渔船装备新的透明监控计划。
- Oceans5 的全球项目之一是帮助华盛顿智库史汀生中心（Stimson Center）²⁷⁸评估远洋捕鱼船队。这个全球项目更侧重于通过更好地了解船队对政治话语和当地社区的影响来加强机构能力建设。
- Oceans5 积极与洪都拉斯和伯利兹政府建立伙伴关系，旨在改善这些国家的渔业数据采集和海洋监察。为实现这一目标，Oceans5 将实施电子许可、渔船跟踪和渔获登记系统。

威特基金会

威特基金会²⁷⁹是政府合作伙伴，协助政府制定海洋可持续发展计划。

- 除了通过伙伴关系提供支持之外，威特基金会还提供赠款和技术援助，并组织科考行动。
- 威特基金会的大部分工作都围绕着海洋保护区和政策/管理解决方案展开。
- 威特基金会负责管理海洋保育快速拨款计划²⁸⁰，向致力于制定解决新兴保育问题的解决方案的项目提供小额赠款。

Oceankind

Oceankind 基金会的使命是：“改善全球海洋生态系统健康状况，同时支持依赖海洋生态系统的人们的生计”²⁸¹。Oceankind 的重点领域包括：捕捞、气候变化、栖息地丧失和污染。Oceankind 认为这些是世界海洋面临的最严重问题。Oceankind 主要通过两个计划来应对这些挑战：Oceankind 保育和 Oceankind 创新。

- Oceankind 保育计划重点支持投身海洋保育领域的领先非营利组织，为杰出的先锋企业提供投资，并力求通过政策和其他活动来扩大保育技术的应用规模。
- Oceankind 创新计划旨在推进具有发展前景的海洋保育技术，支持具有重大规模化潜力，并且可以直接用于解决海洋保育问题的技术进步。

²⁷² <https://oakfnd.org/>

²⁷³ <https://www.bloomberg.org/>

²⁷⁴ <https://www.bloomberg.org/program/environment/vibrant-oceans/#overview>

²⁷⁵ <https://www.bloomberg.org/press/data-on-global-fishing-activity-and-ocean-ecosystems-now-available-on-bloomberg-terminal/>

²⁷⁶ <https://www.oceans5.org/>

²⁷⁷ <https://www.linkedin.com/company/kemitraanpartnership/>

²⁷⁸ <https://www.stimson.org/>

²⁷⁹ <https://www.waittoundation.org/>

²⁸⁰ <https://www.waittoundation.org/roc-grants>

²⁸¹ <https://oceankind.org/>

翠鸟基金会

翠鸟基金会²⁸²旨在“通过减少或杜绝非法、破坏性和不具经济可持续性的捕捞行动来恢复和保护海洋鱼类种群的健康和恢复力”。

- 翠鸟基金会提供创新融资、风险管理和政策激励措施，支持风险较高但可提供较高长期回报的解决方案。因此，翠鸟基金会的核心投资原则之一是容忍风险。
- 翠鸟基金会的核心重点领域包括开发可持续渔业管理模型。
- 翠鸟基金会是美国国家鱼类和野生动物基金会电子监控和电子报告计划的主要支持者。



4.1.6 非政府组织

非政府组织（NGO）通过赠款、计划和伙伴关系提供资金。然而，非政府组织本身的运营也严重依赖赠款、私人捐赠和政府资助。许多出资人为非政府组织提供资金，协助其开展特定领域的具体项目，这些项目往往与技术开发或政治变革有关。出资人往往通过提供资金和专家资源担任合作伙伴。一些非政府组织能够提供小额赠款，但大部分资源往往用于内部研究、创新和产品开发（De Vos 等，2020 年）。

整体而言，非政府组织在技术型项目中发挥着重要作用，目前积极致力于资助与渔获物和捕捞努力量核算、小规模渔业监测、提升供应链透明度有关的项目。其中许多项目都与电子监控和电子报告以及侦察 IUU 捕捞行为有关。整体而言，非政府组织往往对人工智能、机器人技术、卫星数据和改进数据管理系统有着浓厚兴趣，并在弥合科学与政策的鸿沟方面发挥着重要作用（Leape 等，2020 年）。许多非政府组织开始将人类福祉（包括粮食安全和营养）作为加强渔业保育的主要动机（Levine 等，2020 年）。

²⁸² <http://www.kingfisherfoundation.org/>

表 4.7. 知名非政府组织

<p>美国环保协会 (EDF)</p>	<p>EDF²⁸³增强世界各地渔业社区在改善生计的同时保护海洋的能力。EDF 开发并培养创新技术，并将其推向市场。EDF 致力于实现可持续和气候恢复力渔业（涵盖全球超 60% 的渔获量），改善海洋健康，保障粮食和就业安全，包括通过加强粮食安全和改善生计提升 5 亿人福祉。在海洋计划中，EDF 海洋技术解决方案（OTS）团队正在通过智能船舶倡议²⁸⁴和其他工作推进渔业技术项目，旨在加快新技术的开发和采用，以推进全球渔业可持续发展。EDF 在推广海洋技术方面开展的工作已成功推动多个国家采用渔业技术，包括瑞典、智利、秘鲁、印尼、菲律宾、日本和美国。EDF 开展的技术型项目的示例包括：</p> <ul style="list-style-type: none"> • EDF 与美国西海岸底栖拖网渔业渔民合作，应用机器学习工具和无线传输技术改进电子监控试验计划。 • 在美国和印尼开展的 SmartPass（智能通行）项目（Haukebo 等，2021 年）旨在利用人工智能算法和数字摄像机自动生成关于渔船活动数据，以此来加强小规模 and 休闲渔业监测。 • 瑞典渔民与政府官员和 EDF 合作，开发并采用 FishRight 在线平台²⁸⁵，允许渔民实时交易配额。FishRight 能够减少兼捕，并协助瑞典遵守欧盟最新颁布的渔获物丢弃禁令。 • 在智利、厄瓜多尔和秘鲁，EDF 及其合作伙伴正在构建一个“预警系统”，集成多种数据类型并运用大数据工具来应对气候对洪保德海流生态系统造成的影响。 • EDF 目前正在与阿拉斯加渔业科学中心的渔业创新项目²⁸⁶合作开发计算机视觉技术，以自动统计和鉴别拖网渔船捕捞的底栖鱼种。
<p>Oceana</p>	<p>Oceana²⁸⁷倡导基于科学的渔业管理，并与全球渔业观察开展紧密合作。</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oceana 倡议的重点领域包括负责任捕捞和“拯救海洋，养活世界（Save the Oceans, Feed the World）”运动²⁸⁸。Oceana 还负责管理海产品欺诈计划²⁸⁹，利用 DNA 监测技术来识别鱼类。 • Oceana 主要通过倡导活动、诉讼和研究活动来加强机构能力建设。例如，Oceana 于 2019 年对国家海洋渔业局（NMFS）提起诉讼，指控 NMFS 未能防止美国西海岸鳕鱼过度捕捞。
<p>大自然保护协会 (TNC)</p>	<p>TNC 致力于改善全球海洋保育，推动渔业可持续发展，并与渔业管理者和其他利益相关者合作，开发新技术并提升对可持续海产品采购的需求。</p> <ul style="list-style-type: none"> • TNC 与海产品解决方案保护联盟²⁹⁰合作开展中西部太平洋金枪鱼延绳钓渔业改进项目。TNC 通过这些渔业改进项目来确定减少兼捕的方法，并致力于开创新技术和数据分析解决方案来采集关于渔业健康状况、捕捞船队合规性的数据，并提高可追溯性。在开展这些项目期间，TNC 也在延绳钓渔船上部署了电子监控系统。 • TNC 还与 Techstars²⁹¹合作运营 Techstars 可持续发展加速器项目²⁹²，支持众多具有可持续发展意识的初创公司，加速器项目的成员包括 Bext360²⁹³和 Gybe²⁹⁴等蓝色科技公司。

²⁸³ <https://www.edf.org/>

²⁸⁴ <https://www.edf.org/oceans/smart-boats>

²⁸⁵ <https://www.edfeurope.org/swedish-fisheries>

²⁸⁶ <https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/developing-machine-vision-collect-more-timely-fisheries-data>

²⁸⁷ <https://oceana.org/>

²⁸⁸ <https://oceana.org/feedtheworld>

²⁸⁹ https://oceana.org/our-campaigns/seafood_fraud/campaign

²⁹⁰ <https://solutionsforseafood.org/collaborators/the-nature-conservancy/>

²⁹¹ <https://www.techstars.com/>

²⁹² <https://www.techstars.com/加速器/sustainability>

²⁹³ <https://www.bext360.com/>

²⁹⁴ <https://www.gybe.eco/>

世界自然基金会 (WWF)

WWF²⁹⁵大力投资以海洋为重点的项目，并且一直致力于实施海洋保护区和开发基于政策的解决方案来解决世界渔业挑战。

- 最近，WWF 参与了多个以技术为中心的倡议，包括启动智慧捕捞计划²⁹⁶和共同创立 OpenSC²⁹⁷。
- 智慧捕捞计划在金枪鱼管理、禁止流网捕捞和扩大 MSC 认证在俄罗斯等国家的应用方面取得了进展。智慧捕捞计划还致力于通过参与政府特别工作组和联盟来杜绝欧盟和美国的 IUU 捕捞行为。
- WWF 的 2020 年渔业目标包括加强全球粮食安全、改善金枪鱼和白鲑等特定鱼种的管理和可持续贸易，以及改善依赖渔业的社区的生计。

保护国际基金会 (CI)

保护国际基金会²⁹⁸主要在以下三个领域参与海洋保育：蓝色自然、蓝色生产和蓝色气候。

- CI 致力于开发相关工具、伙伴关系和项目，促进基于位置的综合海洋管理，促进渔业和水产养殖业可持续发展，通过蓝碳减少碳排放，并提高社区适应气候变化的能力。
- CI 旗下影响力基金保护国际风险投资基金²⁹⁹并不完全专注于海洋领域，但也已投资 Safety Net（安全网）³⁰⁰等渔业技术。

世界渔业中心

世界渔业中心³⁰¹是一个国际非营利研究组织，旨在通过改进水产养殖业和渔业来减少发展中国家的贫困和饥饿问题。

- 世界渔业中心的小规模渔业计划³⁰²通过资助研究和支持改善渔业治理的政策倡议来促进能力建设。
 - 世界渔业中心的水产养殖技术计划³⁰³旨在提高水产养殖业的资源效率，促进水产养殖业可持续发展。感兴趣的技术包括：鱼类育种和遗传学、疾病检测和控制、营养和饲料、以及提升生产系统能力。
-

4.1.7 民间融资

这类出资人包括影响力投资、风险投资和其他追求收益的私人资金。影响力投资和风险投资是可持续和创新海洋解决方案和技术最重要的两种私人融资方式。与基金会相比，影响力投资基金主要集中于创新和基于技术的解决方案。所有投资基金都希望能够通过投资获得收益，尽管影响力投资基金可能愿意以低收益率换取投资组合成员公司创造的社会效益。与主流投资者相比，影响力投资基金对投资时限和公司风险预测的容忍度更高（De Vos 等，2020 年）。但是，与基金会相比，影响力投资基金的投资更加保守，因为它们的主要目标是扩大资产规模，同时实现积极影响。目前，越来越多的风险投资公司也在通过投资蓝色经济加入影响力投资基金。与影响力投资基金相比，风险投资者对风险的容忍度较低，并且通常并不愿意用较低收益率换取更多积极影响，这可能也是风险投资并非海洋领域常见融资来源的原因。

²⁹⁵ <https://www.worldwildlife.org/>

²⁹⁶ https://wwf.panda.org/discover/our_focus/oceans_practice/smart_fishing/

²⁹⁷ <https://opensc.org/>

²⁹⁸ <https://www.conservation.org/>

²⁹⁹ <https://www.conservation.org/projects/conservation-international-ventures-llc>

³⁰⁰ <https://sntech.co.uk/>

³⁰¹ <https://www.worldfishcenter.org/>

³⁰² <https://www.worldfishcenter.org/content/worldfish-research-program-resilient-small-scale-fisheries>

³⁰³ <https://www.worldfishcenter.org/content/aquaculture-technologies-and-best-management-practices-training-program-0>

影响力投资和风险投资基金等投资基金中的私人资本是一个相对而言较低开发程度的资金来源（Fitzgerald 等，2020 年）。许多影响力基金都是通用型基金，只有少数资金专门针对渔业和水产养殖业。但是，许多基金都将蓝色经济作为投资重点，对海洋科技公司有一定兴趣。尽管这类出资人感兴趣的挑战尚不明确，目前已经获得资金的技术类型也呈现出一定趋势。例如，传感器和人工智能技术，以及数据共享和整编平台都是常见投资类别。这些趋势可能与各类技术的风险预测和市场证据丰富度有关。尽管当前的认知是投资基金提供的资金正在逐步增加，受访者并不认为他们有能力获取这些资金。一些受访者注意到，投资基金对蓝色经济和以海洋技术为重点的公司的兴趣日益浓厚，这也提升了投资水平。其他人则认为，由于渔业在传统上被认为是风险投资，针对渔业相关技术的风险投资基金仍然非常有限。渔业本身也开始提供更多资金，尤其是在能够实现直接收益的情况下。例如，渔业正在为渔业改进项目提供越来越多的资金，这可能是由于美国和欧洲支持渔业改进项目的市场正在不断增长（Levine 等，2020 年）。

表 4.8 知名投资基金

<p>Althelia 可持续海洋基金 (SOF)</p>	<p>SOF³⁰⁴刚刚完成第二轮融资，目前可用投资额已达 9200 万美元，可投资于可持续海产品、循环经济和海洋保育等领域。SOF 支持能够提升供应链效率的技术。</p> <ul style="list-style-type: none"> • SOF 采用独特的混合策略，采用多元化方式投资可持续渔业和蓝色经济。 • SOF 成立于 2016 年，尚未公布投资组合成员公司。 • SOF 的战略合作伙伴包括美国环保协会和保护国际基金会，它们为 SOF 提供技术专业知识并负责监督项目。
<p>保护国际基金会 (CI) 风险投资</p>	<p>CI 风险投资是一个创新融资机制，应用金融工具支持自然保育。CI 风险投资的前身是 Verde Ventures，但其之后发展为 eco. Business 基金³⁰⁵。CI 风险投资迄今为止已经完成八笔交易，CI 直接投资 270 万美元，合作伙伴共同筹资 980 万美元。CI 风险投资的目标是到 2028 年完成 100 笔交易，管理全球 120 万英亩土地，支持 60,000 人的生计。</p> <ul style="list-style-type: none"> • CI 风险投资设立之初是一个由慈善机构资助的投资工具，目的是提供风险较高的投资，或者为无法获得其他投资的地理区域和细分市场内处于早期阶段的公司提供投资。蓝色经济是 CI 风险投资的重点领域之一。 • CI 风险投资最初秉承 CI 海洋中心³⁰⁶的战略，寻找促进蓝色解决方案的创新理念，包括可持续海产品和海洋污染解决方案。 • CI 风险投资重点关注全球和区域问题、海产品公司和 CI 优先地理区域（例如古巴、南非、肯尼亚、秘鲁）的供应链。 • 尽管 CI 的战略以支持小规模渔业为中心，CI 风险投资并不愿意投资向少数当地市场供应鱼类产品的小型渔业合作社，因为它的投资的影响规模会受到限制。CI 风险投资感兴趣的是能够帮助广泛小规模渔业的解决方案。 • CI 风险投资组合中的渔业和水产养殖技术包括 SafetyNet Technologies（安全网技术）和 Jala³⁰⁷。

³⁰⁴ <https://althelia.com/wp-content/uploads/2020/08/SOF-Impact-Report-2020.pdf>

³⁰⁵ <https://www.ecobusiness.fund/en/>

³⁰⁶ <https://www.conservation.org/about/center-for-oceans>

³⁰⁷ <https://jala.tech/>

施密特海洋技术合作伙伴

施密特家族基金会³⁰⁸为施密特海洋技术合作伙伴（SMTP）³⁰⁹提供资金，以填补其他基金留下的投资缺口。基金会以赠款形式提供资金。

- SMTP 专注于持续推进渔业和海洋研究，现已投资于 Conservation X 的 DNA 条形码扫描仪³¹⁰和 Pelagic 数据系统的渔船跟踪器等技术。
- SMTP 也是出资人和企业家的重要信息来源，为他们提供关于新兴趋势和企业的宝贵信息。

Katapult Ocean

挪威奥斯陆的 Katapult Ocean³¹¹近期结束了第一轮投资，共投资 24 家海洋初创公司，投资总额达 400 万美元。Katapult Ocean 目前正在筹集第二轮规模更大的投资，意在投资另外 40 个蓝色科技公司。

- 作为一般性海洋项目，Katapult Ocean 投资组合中以技术为重点的投资并非都与渔业有关。
- 投资组合中的相关公司包括 Innomar³¹²和 Atlan Space³¹³。
- 除了作为投资基金之外，Katapult Ocean 还在奥斯陆启动了一个为期 3 个月的加速器项目：
 - 为项目内的所有初创公司提供 150,000 美元的资金，以换取 8% 的股权。但是，公司需要支付 5 万至 10 万（取决于投资规模）的入场费。
 - 项目涵盖五个领域：交通、海洋健康、捕捞、能源和前沿领域。

蓝色投资基金

- 蓝色投资基金³¹⁴由欧盟委员会与欧洲投资基金合作成立，目的是为支持蓝色经济的基础股权基金提供融资。
 - 蓝色投资成立于 2020 年 2 月，是一个新股权投资基金，价值 7500 万欧元。
 - 由于是新基金，投资组合尚未公开，但其已公布感兴趣的投資主题，包括：渔业和水产养殖、蓝色生物技术以及波浪能和潮汐能。
 - 欧盟委员会的蓝色投资平台³¹⁵也为蓝色投资基金做出了补充。蓝色投资平台是一个资源中心，可以为初创公司和处于早期阶段的企业构建网络关系并协助其做好投资准备。
-

4.1.8 加速器项目

加速器项目往往由一系列相关领域的合作伙伴提供资金并负责运营，或者是投资开发公司的分支业务。例如，Katapult Ocean³¹⁶ 是一家设立加速器项目的投资公司，而 Oceans X 实验室加速器³¹⁷则由一个非政府组织（世界自然基金会）和一家私营科技公司（Conservation X 实验室³¹⁸）联合运营。加速器项目能够为处于早期阶段的公司提供资金和专业知识，协助它们拓展业务规模。加速器往往针对极为具体的领域，并且许多加速器重点关注能够产生积极社会或环境影响的公司，这是它们的使命。加速器投资模型涉及向处于早期阶段的产品提供风险相对较高的投资，往往采用现金和资源的

³⁰⁸ <https://tsffoundation.org/>

³⁰⁹ <https://www.schmidtmarine.org/>

³¹⁰ <https://conservationxlabs.com/dna-barcode-scanner>

³¹¹ <https://katapultocean.com/>

³¹² <https://www.innomar.no/>

³¹³ <https://www.innomar.no/>

³¹⁴ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_167

³¹⁵ <https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/en/frontpage/1451>

³¹⁶ <https://katapultocean.com/>

³¹⁷ <https://www.worldwildlife.org/magazine/issues/spring-2017/articles/oceans-x-labs-kickstarting-conservation-tech-entrepreneurship>

³¹⁸ <https://conservationxlabs.com/>

形式，并且通常以股权转让作为回报。加速器项目提供的非财务支持（例如，专家网络、财务和管理培训）旨在为公司做好成功发展准备来降低投资风险。

对于海洋和渔业科技公司而言，加速器是相对较新的融资机制。它们几乎只对技术感兴趣，因此对以海洋和渔业为重点的新兴公司具有极高影响力。以海洋为重点的初创公司更难获得资金支持，因此一些企业家开始寻求加速器项目的支持，以降低公司的风险预测（Ritter 和 Cheung，2019 年）。加速器目前已被确定为一种可协助扩大海洋技术规模的潜在方式，这也是大多数新海洋公司难以获得资金支持的阶段（Leape 等，2020 年）。

可以提升投资吸引力的相关资源包括创新中心和网络，目的是汇集企业、研究机构和政府机构等多元参与者，在多个海洋领域开展一系列创新（经合组织，2019 年）。例如，挪威海事清洁科技专业知识中心集群³¹⁹支持开发环保技术，加拿大不列颠哥伦比亚省维多利亚的海洋期货创新中心³²⁰和新斯科舍省哈利法克斯的海洋风险投资和创业中心协助海洋公司共享资源，为小型公司提供指导，发挥成长孵化器的作用³²¹。

表 4.9 知名加速器项目

<p>Fish 2.0</p>	<p>Fish 2.0³²²自 2013 年开始举办，是一项以海洋技术为重点的成熟加速器竞赛。Fish 2.0 汇集了鲑鱼创新基金和 Aqua-spark 基金等海洋领域的主要投资人和指导者，并聚焦水产养殖和渔业主题，包括供应链可追溯性和质量控制与保证。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 决赛入围者包括 Organic Ocean³²³等公司，Organic Ocean 利用技术为消费者提供可持续海产品。 • Fish 2.0 的许多参赛公司都专注于水产养殖业，因为出资人对水产养殖市场技术的兴趣日益浓厚。 • Fish 2.0 还搭建了 Fish 2.0 Connect³²⁴平台，建立出资人与创业者关联网络。
<p>OceansX 实验室</p>	<p>OceansX 实验室³²⁵是世界自然基金会和 Conservation X 实验室开展的联合项目，目标是“利用新兴技术、开放式创新、协作式问题解决和企业家精神解决全球海洋保育面临的挑战”。</p> <ul style="list-style-type: none"> • OceansX 实验室建立了一个解决方案系统³²⁶、一个被称为数字众创空间的开源硬件平台、以及一个加速器项目。 • OceansX 实验室专注于应对海洋保育领域的十大挑战³²⁷，包括“从海洋到海岸的透明度：终结过度捕捞”。 • 加速器项目中的公司主要专注于水产养殖——饲料和药品——也有一些公司致力于开发植物基和实验室培育的海产品。

³¹⁹ <https://maritimecleantech.no/>

³²⁰ <https://southislandprosperity.ca/ocean-hub/>

³²¹ <https://www.timescolonist.com/news/local/a-hub-for-ocean-innovation-pitched-for-victoria-1.24171925>

³²² <https://www.fish20.org/>

³²³ <https://organicocean.com/>

³²⁴ <https://www.fish20.org/connect/about-connect-for-visitors>

³²⁵ <http://www.oceanslabs.org/>

³²⁶ <http://www.oceanslabs.org/what-is-oceans-x-labs>

³²⁷ <https://conservationlabs.com/grand-challenges>

可持续海洋联盟 (SOA) 海洋解决方案 加速器

2019 年，加速器项目 SOA 获得 150 万美元的捐款。这个海洋解决方案加速器的目标是到 2021 年创建 100 家致力于解决海洋领域最重大问题的公司。

- 每个项目持续 2 个月，成员公司可访问 SOA 的出资人和指导者网络。
 - 渔业成员包括 Smart Catch³²⁸、EcoDrone³²⁹和 ONET Global³³⁰。
-

4.2 近期筹资活动

许多从业者认为渔业技术项目获得的资金整体呈上升趋势，但也有少数人不以为然。近几年收到的资金增幅最大的技术包括电子监控和电子报告、基于卫星的通信、遥感、水产养殖监测和区块链溯源。本节讨论我们在研究过程中发现的一些主要趋势。

4.2.1 资金量和多元性逐渐增加

资金量显著增加，尤其是来自慈善机构的资金。受访者普遍认为，关注海洋的慈善出资人对海洋技术的兴趣日益浓厚，这可能是因为在海洋技术领域赚到财富的个人开始创建慈善机构或家族基金会。可用资金来源也越来越多样化。许多影响力投资者对技术非常感兴趣，而 Aqua-spark³³¹和 Althelia（见表 4.8）等则特别关注海产品技术投资。公共资金来源也有所增加，例如美国国际开发署（USAID）海洋与渔业伙伴关系正在测试用于打击亚太地区 IUU 捕捞行为的电子溯源技术。

随着开发银行更深入地参与推进实现关于粮食安全和生计的可持续发展目标，它们对渔业和水产养殖业的兴趣愈发浓厚。世界银行蓝色经济计划³³²便是一个典型示例。这一计划的可用投资组合资金约为 50 亿美元，可支持通过可持续利用海洋资源来促进经济增长，改善生计和就业，并聚焦渔业可持续发展和海洋生态系统健康状况。各国和地方政府机构也纷纷效仿，致力于实现蓝色经济价值，为这一领域的企业提供资源。这些资源并不一定都是财政资源，政府的支持证明了改进渔业技术的新兴公司的正当性，从而促进其获取更多资金。在过去五年里，蓝色经济倡议和加速器项目

³²⁸ <https://www.crunchbase.com/organization/smartcatch#section-overview>

³²⁹ <https://oceansunmanned.org/eco-drone/>

³³⁰ <https://onetglobal.com/>

³³¹ <https://www.aqua-spark.nl/>

³³² <https://www.worldbank.org/en/topic/environment/brief/the-world-banks-blue-economy-program-and-probleu-frequently-asked-questions>

(AltaSea³³³、SeaAhead³³⁴、PNOC³³⁵、IOC³³⁶和 OceanHub Africa³³⁷) 实现了显著增长, 并且它们往往获得了政府的大力支持。一位受访专家与印尼和爱尔兰政府官员进行了交流, 他们称“政府已经认识到海洋保育和业务作为经济推动力量的重要意义”。

渔业相关技术也获得了越来越多的私人投资资金, 尤其是在较富裕国家。这类资金往往主要用于加强溯源技术(以协助打击 IUU 捕捞行为)和促进大数据倡议。同样, 支持营利性企业或蓝色技术的创新理念也获得了更多私人投资和赠款。在这一趋势下, Fish 2.0(见表 4.9)开创了一种匹配蓝色技术领域的初创公司和投资者的方法, 目前项目规模已得到扩展, 并已被蓝色投资³³⁸等倡议采用。蓝色投资在 2020 年初为蓝色经济启动了价值 7500 万的股权投资基金。

4.2.2 各类技术的近期趋势

专注于分析渔获物和捕捞努力量、跟踪渔船位置和改进科学数据采集的技术获得的资金也有所增加。

4.2.2.1 电子监控与报告 (EMR) 技术

电子监控与报告技术在研发阶段获得了政府、非政府组织和基金会的广泛支持, 但目前的普遍观点是, 渔业须自行承担后续技术成本。然而, 鲜少有私人资金支持渔业应用电子监控与报告技术, 这可能是因为筹资环境存在风险。以海洋保育为重点的技术加速器和影响力投资基金是技术初创企业在早期阶段的主要私人投资工具, 但其目前仍然是一个相对较新的发展领域, 这可能是导致私人资金较少的原因 (Ritter 和 Cheung, 2019 年)。

从业者观察到, 在许多情况下, 渔业对电子监控与报告技术的接受意愿越来越高, 但付费意愿却越来越低。这是一个具有挑战性的问题, 因为政府通常并不愿意为工业渔业提供补贴, 而且大部分电子监控与报告技术试点项目在补助金用完之后往往也随之结束。船载定位传感器项目(例如, Pelagic 数据系统³³⁹)是一个例外, 这类项目的资金往往来自政府而非慈善机构。这可能是因为这些项目的技术成本相对较低, 而且这些技术可直接用于渔业监测和执法, 具有明显效用。

美国已为电子监控与报告技术划拨联邦和区域资金, 但供资情况因地区而异, 并

³³³ <https://altasea.org/>

³³⁴ <https://sea-ahead.com/>

³³⁵ <https://www.pnwocancluster.com/>

³³⁶ <http://www.sjavarklasinn.is/en/about/>

³³⁷ <https://www.oceanhub.africa/>

³³⁸ <https://blueinvest2020.converve.io/index.html>

³³⁹ <https://www.pelagicdata.com/>

且必须获得国会批准。这类资金似乎更加关注更先进、自动化的监控技术，例如船载视频监控。目前电子监控与报告技术也有机会获得赠款，包括美国国家鱼类和野生动物基金会电子监控与报告补助计划于 2019 年提供的 370 万美元。

4.2.2.2 基于卫星的技术

基于卫星的 VMS 和 AIS 跟踪器以及利用光电或合成孔径雷达传感器的遥感技术是渔业最常用的基于卫星的技术。这一领域的增长得益于用于国防、天气、通信和空间研究和其他应用领域（并非特定于渔业）的卫星技术获得的政府和私人投资（更多详细信息请参阅第 2.2 节）。风险投资者对近地轨道（LEO）相关公司的兴趣日益浓厚，而最具投资吸引力的是卫星发射和微型卫星初创公司（Besha 和 MacDonald，2017 年）。采用已在其他行业使用的低成本技术可以缩短开发时间，使其成为具有吸引力的风险投资领域。

投资增加推动了这一领域的发展，与之相呼应的是，AIS 数据的获取成本在过去十年里显著下降，这在一定程度上是因为卫星覆盖面积日益增加。全球渔业观察称，2015 年至 2019 年，由于卫星覆盖面积增加，卫星发射成本下降，数据提供商之间的竞争加剧，其与知名卫星数据提供商之间签订的许可协议成本下降了 90%。

目前，重点关注打击 IUU 捕捞行为以及与较低收入国家合作跟踪捕捞船队的援助资金也在持续增加。例如，一些西非国家通过划定近岸禁区来管理工业渔船，近岸禁区便于采用 VMS 进行监控，因此 VMS 覆盖面增加也被视为打击 IUU 捕捞行为唾手可得的成果。世界银行向这些国家提供的促进渔业可持续发展的贷款往往包含 VMS 覆盖面目标。基金会和非政府组织对应用遥感技术打击非法捕捞行为尤为感兴趣。Oceans5 已将这些技术纳入其在全球各个地区的战略中，而大自然保护协会则采用 VMS 数据来监测船队是否遵守渔业法规。其他从业者注意到，VMS 私人投资有所增加，例如 SeaAhead³⁴⁰和施密特海洋技术合作伙伴（见表 4.8）等公司提供的投资，结合基于卫星的系统、电子监控与报告技术和溯源技术，打击大规模渔业中的 IUU 捕捞行为。

捕捞船队也可以采用遥感技术来改进捕捞作业，例如定位鱼群（Klemas，2013 年）。相关资金更有可能来自渔业和投资基金。例如，ShipIn³⁴¹等为商业船队提供实时船队监控服务的公司获得了 SeaAhead 等基金的投资。卫星遥感是一项有用工具，可协助在海洋鱼类种群动态分析中充分考虑栖息地因素（Chassot 等，2011 年），因此，随着越来越多的渔业管理者开始实施基于生态系统的渔业管理方法，卫星遥感技术将获

³⁴⁰ <https://sea-ahead.com/>

³⁴¹ <https://www.shipin.ai/>

得更多投资关注。

4.2.2.3 水产养殖技术

随着水产养殖业不断发展，人们对鱼类养殖工具和数据的商业兴趣日益浓厚。海洋融资手册（De Vos 等，2020 年）将水产养殖业视为一个新兴蓝色经济领域，并且预计海水养殖将实现最强劲的增长。为了满足预计的水产养殖需求，预计需增加 1500 亿至 3000 亿美元的资本投资（De Vos 等，2020 年）。这一领域目前已成立多家科技初创公司，包括 InnovaSea³⁴²、eFishery³⁴³和 Algaeba³⁴⁴，而且随着出资人对这一领域的关注增加，未来将有更多公司进入这一行业。据预计，到 2030 年，水产养殖将占海产品总产量的 62%（世界经济论坛，2017 年）。改进技术可以改进选址、加强污染防治和监测，并改进饲料投喂方式，从而提高水产养殖作业的环境和经营绩效。

对水产养殖场管理软件的投资不断增加，包括多个重点关注这一领域的加速器项目（例如 Hatch³⁴⁵、Katapult Oceans（见表 4.9）、F3 Tech³⁴⁶）。水产养殖业加速器项目的数量远远高于专注于捕捞渔船监控的新公司数量。近期发布的一份报告发现，在其分析的渔业初创公司中，超过一半的公司专注于水产养殖业务（Ritter 和 Cheung，2019 年）。投资基金和加速器项目对水产养殖技术尤其感兴趣，因为与其他渔业技术行业相比，水产养殖技术的风险更低、收益更显著，更有可能迅速被大公司收购。

4.2.2.4 区块链溯源技术

基于区块链的供应链溯源平台已实现爆炸性增长，不计其数的初创公司如雨后春笋般涌现，难以跟踪统计。Fishcoin³⁴⁷便是一个引人注目的例子。Fishcoin 旨在激励小规模渔民收集和传输管理与供应链数据。2019 年，美国国家渔业协会³⁴⁸和 IBM 食品信托计划³⁴⁹联手启动了一个试点项目³⁵⁰，将区块链技术引入海产品供应链。这项工作获得了海产品行业研究基金（SIRF）的资助³⁵¹。美洲开发银行³⁵²举办了一场蓝色科技挑战赛³⁵³，向致力于开发可持续技术，推动蓝色经济的企业奖励奖金，目前已为利用区块链增强海产品供应链的公司提供资金支持。此外，联合国粮食和农业组织开展

³⁴² <https://www.innovasea.com/>

³⁴³ <https://unreasonablegroup.com/companies/efishery/>

³⁴⁴ <http://www.algaeba.com/>

³⁴⁵ <https://www.hatch.blue/>

³⁴⁶ <https://f3tech.org/>

³⁴⁷ <https://fishcoin.co/>

³⁴⁸ <https://aboutseafood.com/>

³⁴⁹ <https://www.ibm.com/blockchain/solutions/food-trust>

³⁵⁰ https://www.aboutseafood.com/press_release/nfi-and-ibm-launch-seafood-blockchain-pilot/

³⁵¹ <https://sirfonline.org/>

³⁵² <https://www.iadb.org/en/about-us/overview>

³⁵³ <https://www.iadb.org/en/idb-launches-blue-tech-challenge-us2m-funding-blue-economy-proposals>

了一项内部倡议，跟踪各项技术以鼓励技术采用，在这个倡议中，粮农组织将区块链认定为一项颠覆性技术。虽然区块链技术声名鹊起，吸引了开发银行和多边机构等诸多大型利益相关者的关注，许多基于区块链的初创公司（例如 Bext360³⁵⁴）仍在摸索市场方向，需要 Techstars 可持续发展加速器等加速器项目的支持（见表 4.7）。



4.2.3 增长趋势的例外

尽管大多数参与调查的从业者都表示筹资机会正在增加，但也存在一些例外情况：

- 民间融资对小规模渔业技术的关注度有所下降。目前只有少数公司为小规模渔业提供促进业务发展的新技术，例如加工和捕捞，而渔业管理技术更是少之又少。因此，投资机会也非常有限。如果未来对技术相关产品的需求增加，小规模渔业将为能够在广阔市场赚取微薄利润的创新技术提供重要机会。
- 不断变化的投资重点和预算限制导致渔业错失了一些筹资机会。例如，由慈善机构和 NOAA 资助的世界自然基金会智能渔具设计大赛³⁵⁵最近由于资金不足而被取消。
- 一些组织的投资重点已从技术项目转变为改进人力资源系统和数据管理系统（收集、分析和使用数据）的项目。
- 基金会正在为渔业改进项目和一些渔船监控工作提供资金，但非政府组织和

³⁵⁴ <https://www.bext360.com/>

³⁵⁵ <https://www.worldwildlife.org/initiatives/international-smart-gear-competition>

基金会目前已很少直接向技术提供商发送需求建议书。这在一定程度上可能是因为渔业改进项目和基金会并不确定它们的技术需求或需要，并且在“挑选赢家”时犹豫不决。

- 多个慈善筹资渠道的海洋项目重点已经从支持海洋保护区转变为应对塑料污染³⁵⁶、气候变化、倡导和公共政策问题。专注于减塑的初创公司数量正在迅速增加。
- 对通过技术孵化器、风险投资和社会影响力投资来鼓励新型创新方法的兴趣日益增加，但是这就减少了现有技术获得的支持，导致其难以继续发展。近期，海洋技术领域加速器项目数量迅速增加，可能超过合适优质企业的数量。可持续海洋联盟曾宣布一个宏伟目标³⁵⁷，即到 2020 年，在海洋解决方案加速器项目³⁵⁸中纳入 40 个创始人年龄在 35 岁以下的海洋科技公司。但是由于符合条件的候选人数量不足，它不得不将标准放宽至所有营利性和非营利性组织。

4.3 展望未来

渔业和海洋技术在供应链透明度、数据集成和管理、机构能力建设、改善当地技术实施条件和小规模渔业监测等领域的发展势头尤为强劲。

4.3.1 透明度

提升渔业透明度，从侦察非法或不可持续的捕捞行为到打造透明供应链，已经并将继续吸引大量资金。海产品溯源项目可能是大部分全球透明度倡议的重点领域。全球果蔬产业或制药行业在可追溯性和供应链方面更为先进，这些行业的技术解决方案为制定和资助针对渔业的解决方案奠定了基础。出资人对侦察（例如，全球渔业观察）和打击（例如，OceanMind）IUU 捕捞行为尤为感兴趣。全球渔业观察在吸引捐助者支持，使用卫星和 VMS 系统跟踪和侦察 IUU 捕捞行为方面非常成功。打击 IUU 捕捞行为获得了基金会、非政府组织和政府机构的大力资助。例如，Oceans5 和沃尔顿家族基金会引领全球倡议，促进采用渔船跟踪和渔获登记系统等技术来提升透明度。沃尔顿家族基金会尤其致力于提高供应链可追溯性，并将继续深耕这一领域——其制定的新

³⁵⁶ 塑料污染是一个受到广泛关注的问题，但往往并未视为与渔业直接相关。截至 2018 年，减塑初创公司已获得 1.2 亿美元的投资承诺，而且减塑项目占 Ritter 和 Cheung（2019 年）统计的项目总数的 12%。对海洋塑料特别感兴趣的组织包括：Althelia SOF、橡树基金会、Benioff、帕卡德、海洋渔业工作组和德国发展银行。

³⁵⁷ <https://www.forbes.com/sites/jeffkart/2019/01/28/accelerator-plans-100-new-ocean-startups-by-2021/#6f832f93509b>

³⁵⁸ <https://www.soalliance.org/ocean-solutions-accelerator/>

2050 年环境战略³⁵⁹中包括重点关注推动创新和使用市场力量推进可持续发展的关键计划。Oceans5 正在支持印尼 Kemitraan 伙伴关系，为 4,000 艘工业渔船装备新的透明监控计划。

4.3.2 数据集成、访问和使用

最近，大量出资人开始重点关注下游数据系统和优化数据利用，例如，如何最优地使用这些技术生成的数据来为海洋科学和管理提供理据支撑。首先是更新数据采集系统，这就需要建设相应基础设施来支持电子数据采集工作。我们需要相应技术来集成日益增长的数据，而能够提高这些数据的可访问性的技术也获得了越来越多的关注——例如，全球渔业观察汇集来自各种来源的开源数据，并向所有人开放。与数据集成和访问有关的挑战（包括数据隐私）仍然是海洋领域制定稳健解决方案的重大障碍，也是未来融资增长的潜在领域。

净收益联盟³⁶⁰正在开发更现代、集成程度更高的数据系统，而一个最常见的问题是 NOAA 和美国各州管理机构为开发综合渔业数据系统提供的支持不足。这些机构在很大程度上各自为战，并未通过综合数据系统实现协作，导致数据无法用于多种用途。翠鸟基金会力求鼓励渔业利益相关者参与解决与数据权利和责任、通用数据协议和数据审核协议有关的信息政策问题，所有这些要素都对渔业管理信息的成本和可用性具有重大影响。

美国国家海洋渔业局近期举办了一场渔业信息管理现代化（FIMM）³⁶¹研讨会，目的是审核和评估推进渔业数据和信息系统现代化的实际和切实行动，研讨会的目的符合 NOAA 实现“有效、用户友好、最先进数据和信息管理”的优先事项。NOAA 内部设立的一个学习实践社区可以协助实施研讨会的多项建议。这个实践社区汇集了来自各个区域科学中心的工作人员，并且推动思维转变，即，除了 IT 部门之外，许多工作人员都有必要提高数据素养，了解基础数据治理知识，以促进在未来采用新技术。

4.3.3 机构能力建设

目前各个机构需要加强能力建设来提高实施和运用现有技术的能力，这一点已得到普遍公认。加强机构能力建设是提高海洋科技公司获得私人资本机会的必要之举。因为，为了获得资金，必须明确数据使用和利用数据创造价值的路径。提升金融素养、管理经验和业务规划能力是创业家在向项目开发寻求投资时必须具备的技能（De

³⁵⁹ <https://www.waltonfamilyfoundation.org/strategy2025#environment>

³⁶⁰ <https://www.netgainsalliance.org/>

³⁶¹ <https://www.netgainsalliance.org/webinars/nga-webinar-3>

Vos 等，2020 年）。机构能力建设的示例包括为中级和高级科学家提供关于 R 语言等现代编程工具的培训³⁶²，增加管理者接触创新技术的机会，或者帮助决策者从现有系统中获取更有用的输出。在美国，净收益联盟³⁶³是这一领域公认的领先公司，可协助优化投资重点。

许多基金会和非政府组织都在关注能力建设。日本财团³⁶⁴是一家专注于全球挑战 and 创新的基金会，通过旗下 Nereus 计划³⁶⁵支持蓝色经济能力建设。Nereus 计划负责资助各类研究项目，并为多位海洋科学家提供赞助。在日本财团支持下发表的研究可以为以促进海洋可持续发展和气候变化为中心的政策决策提供理据支撑。海洋基金会也通过其 71% 倡议³⁶⁶参与能力建设，这个倡议有三个支柱：通过提供咨询服务和企业可持续性咨询来增强社区能力；通过举办研讨会和峰会，主持专题小组会议来促进利益相关者合作；以及通过支持研究和参与全球信息交换网络来提升海洋素养。最后，Future of Fish³⁶⁷通过其多个平台重点推进能力建设。例如，它的海产品行业可追溯性工具箱³⁶⁸内包含一系列指南、术语表和实施策略，重点关注“利用数据和科技防范潜在欺诈行为”等主题。世界银行也通过 PROBLUE 信托基金为机构能力建设提供资金，PROBLUE 信托基金设立了一个专注于建设政府管理海洋资源能力的战略支柱。

4.3.4 实施条件

这一领域的许多利益相关方开始关注成功实施促进渔业可持续发展的技术而必要的使能条件。这项工作包括积极与渔业行业合作、设计技术配套政策和发展技术市场。

在技术型项目的初始阶段未能与渔业行业开展积极合作，提高他们的参与度并了解他们的需求，往往导致项目无法成功实施和扩展。渔业信托可发挥重要作用，加强与渔民和技术开发者合作，制定新技术解决方案，以一种能够改进现有系统和产生适当激励的方式满足渔民需求。施密特海洋技术合作伙伴对非营利渔业信托发挥的作用特别感兴趣，因为它既专注于渔业社区，又关注渔业长期可持续发展，并且目前正在与蒙特利湾渔业信托合作支持“钓鱼餐厅周”项目³⁶⁹。

制定和实施政策可确保技术采用并促进合规，而技术也可协助完善渔业政策。全球渔业观察为旨在完善渔业政策的倡导工作提供信息支持，其采用的方法获得了广泛

³⁶² <https://www.r-project.org/about.html>

³⁶³ <https://www.netgainsalliance.org/>

³⁶⁴ <https://www.nippon-foundation.or.jp/en>

³⁶⁵ <https://nereusprogram.org/>

³⁶⁶ <https://oceanfdn.org/wp-content/uploads/2019/09/71-One-Pager.pdf>

³⁶⁷ <https://futureoffish.org/>

³⁶⁸ <http://futureoffish.org/resources/grids/seafood-industry-traceability-toolkit>

³⁶⁹ <https://www.gethookedmontereybay.com/>

关注，并获得了大量资金支持。这一方面的另一个例子是翠鸟基金会资助的项目会向利益相关者告知数据审核、权利、责任和通用协议的相关信息及其在政策中发挥的作用。

4.3.5 小规模渔业

出资人可能保持对如何利用技术来提高小规模渔业可持续性和公平性的浓厚兴趣。小规模渔业包括社区管理的小规模渔业和沿海手工渔业。小规模鱼业的最大出资人是世界银行（世界银行与联合国经济和社会事务部，2017年）。世界自然基金会³⁷⁰、世界渔业中心³⁷¹和橡树基金会³⁷²等其他出资人也对支持小规模渔业感兴趣，尽管它们推出的倡议并非全部专注于技术。斯坦福大学海洋解决方案中心推出了一个专门的小规模渔业和技术倡议³⁷³，由斯坦福大学与美国环保协会和世界渔业中心联合资助。

Abalobi³⁷⁴和 OurFish³⁷⁵等组织目前正在开发创新技术来评估小规模鱼业的渔获水平和捕捞努力量。这些技术得到了印度尼西亚海洋事务部³⁷⁶、橡树基金会³⁷⁷和滑铁卢基金会³⁷⁸等出资人的支持。目前也有一些组织对改进现有技术，制定适用于广泛渔业（包括小规模渔业和自给性渔业）的低成本解决方案感兴趣。人类世研究所目前正在开发此类解决方案：其海洋监测器（M2）³⁷⁹系统结合了商用现货雷达与人类世研究所的开源软件。

在过去几年里，考虑到渔业与粮食安全和生计改善之间的关系，一些捐赠者对鱼业的兴趣有所增加。尽管这些捐赠者都对新技术可以发挥的作用感兴趣，不关注生计影响和营养结果的技术方法很难吸引资金。橡树基金会的小规模渔业战略³⁸⁰在描述小规模渔业的重要性时着重强调了粮食安全。

世界渔业中心聚焦粮食安全、生计和营养的交叉领域，致力于推进水产养殖业和小规模鱼业的可持续发展。世界渔业中心目前与 Pelagic 数据系统和东帝汶农业和渔业部合作，创建了一个先进的数据采集系统和仪表盘³⁸¹，可跟踪小规模鱼业的捕捞行动。

³⁷⁰ https://www.wwfmmi.org/what_we_do/fisheries/transforming_small_scale_fisheries/

³⁷¹ <https://www.worldfishcenter.org/content/resilient-small-scale-fisheries>

³⁷² <https://oakfnd.org/programmes/environment/>

³⁷³ <https://oceansolutions.stanford.edu/key-initiatives/smallscale-fisheries-tech>

³⁷⁴ <http://abalobi.info/>

³⁷⁵ <https://rare.org/story/tracing-fish-and-finances/#.W9SKOxNKjoA>

³⁷⁶ <https://www.linkedin.com/company/mmfa-id>

³⁷⁷ <https://oakfnd.org/>

³⁷⁸ <http://www.waterloofoundation.org.uk/>

³⁷⁹ <https://www.anthropoceneinstitute.com/oceans/overfishing/marine-monitor/>

³⁸⁰ <https://oakfnd.org/wp-content/uploads/2019/11/environment-ssf-strategy-summary.pdf>

³⁸¹ <https://bigdata.cgiar.org/blog-post/timor-leste-launches-world-first-monitoring-system-for-small-scale-fisheries/>

这项工作最初由挪威渔业支持计划（Norad）³⁸²资助，之后获得了国际农业磋商组织（CGIAR）³⁸³农业大数据平台提供的 100,000 美元激励挑战拨款³⁸⁴。

世界渔业中心、杜克大学和粮农组织正在合作开展“照亮隐藏渔获项目”³⁸⁵，旨在揭示小规模渔业对可持续发展的贡献。项目合作伙伴目前正在收集和集成关于世界各地小规模渔业的丰富数据，以引起人们对信息缺口的关注，指引政策制定者的决策，并为这一领域吸引更多投资。这项工作得到了挪威开发合作署、瑞典国际发展合作署（Sida）³⁸⁶、橡树基金会和国际农业磋商组织信托基金³⁸⁷的支持。

充分考虑技术对规模不同的渔业造成的差异性影响也非常重要。杜克大学的海洋和沿海政策项目探究了大规模和小规模渔业的空间重叠情况，以及限制大规模渔业，保护小规模渔业的卫星监测扩展分区规划项目的潜在成本和收益（Belhabib 等，2020 年）。这项工作得到了日本财团旗下研究机构 Nereus 计划³⁸⁸的支持。

4.3.6 科研活动

科研机构主要关注技术如何改进它们的研究实践。目前，科学机构已开展大量工作，与渔业合作部署海上电子数据记录仪、海洋传感器、可追溯体系以及鱼类种类和鲨鱼标记和跟踪。考虑到科研机构在行业发展中发挥的作用，以及它们拥有的海洋技术专业知 识，这些科研机构在与其他出资人合作吸引蓝色经济投资方面发挥着关键作用（De Vos 等，2020 年）。支持鱼类种群生物学科学研究和对可持续渔业感兴趣的出资人存在明显重叠。

对海洋应用研究与探索（MARE）集团和伍兹霍尔海洋研究所等科研机构最感兴趣的出资人群体主要是政府机构（如 NOAA）、基金会或非政府组织。这些出资人通过提供赠款或者以伙伴关系形式开展合作来为研究提供支持。例如，海洋应用研究与探索集团³⁸⁹目前已获得多个非政府组织的支持，这些非政府组织都是它在渔业相关项目中的合作伙伴，包括 Oceana 和大自然保护协会，它还获得了资源遗产基金会的资助³⁹⁰。

³⁸² <https://norad.no/en/front/thematic-areas/climate-change-and-environment/fisheries/fisheries-aid/>

³⁸³ <https://bigdata.cgiar.org/>

³⁸⁴ <https://bigdata.cgiar.org/inspire/inspire-challenge-2018/an-integrated-data-pipeline-for-smallscale-fisheries/>

³⁸⁵ <https://sites.nicholas.duke.edu/xavierbasurto/our-work/projects/hidden-harvest-2/>

³⁸⁶ <https://www.sida.se/English/>

³⁸⁷ <https://www.cgiar.org/funders/trust-fund/>

³⁸⁸ <https://nereusprogram.org/topic/fisheries/>

³⁸⁹ <https://www.maregroup.org/>

³⁹⁰ <https://resourceslegacyfund.org/>

4.3.7 新兴兴趣

除了本节讨论的各个领域之外，一些出资人也开始对以下领域产生兴趣：

- 出资人开始对改进人工集鱼装置（FAD）电子标识跟踪系统产生兴趣。皮尤研究中心和摩尔基金会为在太平洋试点和扩大这项技术提供了资助³⁹¹。
- 美国出资人对使用无绳陷阱和其他干预措施来避免鲸鱼缠结越来越感兴趣。新不伦瑞克省³⁹²雪蟹产业在 2019 年获得了 200 万美元的资金，用于研究和测试可减少捕捞行动对露脊鲸造成的影响的技术，而加州珍宝蟹渔具工作组³⁹³则正在测试减少座头鲸缠结的技术。
- 一些技术能够为海洋和渔业领域的主要非政府组织提供更精确信息，因此，吸引了很多非政府组织的关注。这些信息对于实现恰当项目评估、实时决策和适应性管理等目的至关重要。例如，Skytruth 通过访问雷达卫星图像和 AIS 数据与政府合作提供监测和执法支持³⁹⁴。
- 出资人越来越重视衡量项目的影响力和有效性以及相关基础技术。这也是彭博慈善基金会“活力海洋倡议”³⁹⁵的基石。倡议认为，“无法衡量就无法管理”，并且使用数据系统来跟踪倡议的可衡量结果。对影响力指标的关注与影响力投资的扩展、全球影响力投资网络（GIIN）³⁹⁶以及洛克菲勒等基金会和美国国际开发署等双边组织的优先事项有关。
- 训练机器学习算法来识别鱼种和鉴别捕捞活动类别，以减少人工审查需求或缩短处理视频片段需要的时间也是一个新兴关注领域。这与出资人对开发更高效技术（包括增加人工智能和自动化技术的应用）日益浓厚的兴趣相符。然而，目前尚未开发出可推向市场的完全集成电子监控人工智能解决方案（Michelin 和 Zimring，2020 年）。

对改进小规模渔业、个体渔业和自给性渔业数据采集工作的兴趣日益浓厚。这在一定程度上是由大规模提高数据不透明部门的透明度的强烈意愿推动的，而这个目标已经通过技术在其他行业成功实现。这项工作面临的一项限制是在早期阶段未能成功吸引渔民参与，也未能将他们的需求纳入产品设计和试点项目。我们应当从这些失败中吸取教训，但渔民信任缺失仍然是一项主要障碍。这一新兴兴趣尚未得到充足、协

³⁹¹ <https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/fact-sheets/2014/09/electronic-tracking-of-fish-aggregating-devices>

³⁹² <https://www.cbc.ca/news/canada/new-brunswick/snow-crab-right-whale-fishing-gear-research-1.5143321>

³⁹³ <https://www.mmc.gov/wp-content/uploads/wc-ropeless-summary7-19-18.pdf>

³⁹⁴ <https://skytruth.org/what-we-do/projects/>

³⁹⁵ <https://www.bloomberg.org/program/environment/vibrant-oceans/#overview>

³⁹⁶ <https://thegiin.org/>

调资本的支持，无法产生具有意义的大规模影响。Fish Landing³⁹⁷和 Abalobi 近期开发了以渔民为中心的移动应用程序，并致力于帮助渔业利益相关者跟踪渔业数据，增强小规模渔业在价值链中的权能。

³⁹⁷ <http://www.searoundus.org/new-app-to-simplify-fisheries-data-collection/>

5.致谢

作者在此感谢参与本报告第 4 节开展的初步调查和后续访谈的诸位（匿名）参与者。

作者非常感谢 Sarah Poon 提供的有益审核意见，协助我们完善本报告，并感谢 Katherine Mah 提供的宝贵组织支持。

6. 参考文献

- [1]. Al-Abdulrazzak, D., & Pauly, D. (2014). Managing fisheries from space: Google Earth improves estimates of distant fish catches. *ICES Journal of Marine Science*, 71(3), 450–454. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fst178>
- [2]. Araujo, C. F., Nolasco, M. M., Ribeiro, A. M., & Ribeiro-Claro, P. J. (2018). Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects. *Water Research*, 142, 426–440.
- [3]. Bassett, C., Weber, T. C., Wilson, C., & De Robertis, A. (2016). Potential for broadband acoustics to improve stock assessment surveys of midwater fishes. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 140(4), 3242–3243.
- [4]. Baumgartner, M. F., Stafford, K. M., & Latha, G. (2018). Near real-time underwater passive acoustic monitoring of natural and anthropogenic sounds. In *Observing the Oceans in Real Time* (pp. 203–226). Springer.
- [5]. Belhabib, D., Cheung, W. W., Kroodsmas, D., Lam, V. W., Underwood, P. J., & Viridin, J. (2020). Catching industrial fishing incursions into inshore waters of Africa from space. *Fish and Fisheries*, 21(2), 379–392.
- [6]. Benjaminson, M. A., Gilchrist, J. A., & Lorenz, M. (2002). In vitro edible muscle protein production system (MPPS): Stage 1, fish. *Acta Astronautica*, 51(12), 879–889.
- [7]. Bessa, P., & MacDonald, A. (2017). Economic Development of Low Earth Orbit. In *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/economic-development-of-low-earth-orbit_tagged_v2.pdf
- [8]. Bhatt, T., Cusack, C., Dent, B., Gooch, M., Jones, D., Newsome, R., Stitzinger, J., Sylvia, G., & Zhang, J. (2016). Project to develop an interoperable seafood traceability technology architecture: Issues brief. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(2), 392–429.
- [9]. Bicknell, A. W., Godley, B. J., Sheehan, E. V., Votier, S. C., & Witt, M. J. (2016). Camera technology for monitoring marine biodiversity and human impact. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(8), 424–432.
- [10]. Bradley, D., Merrifield, M., Miller, K. M., Lomonico, S., Wilson, J. R., & Gleason, M. G. (2019). Opportunities to improve fisheries management through innovative technology and advanced data systems. *Fish and Fisheries*, 20(3), 564–583.
- [11]. Brown, C. E., Fingas, M. F., & Hawkins, R. (2003). Synthetic aperture radar sensors: Viable for marine oil spill response? *ARCTIC AND MARINE OILSPILL PROGRAM TECHNICAL SEMINAR*, 1, 299–310.
- [12]. Burden, M., & Battista, W. (2020). Pathways for Climate Ready Fisheries. Environmental Defense Fund. <https://www.edf.org/sites/default/files/documents/pathwaysClimateReadyFisheries-Dec2019.pdf>
- [13]. Cabernard, L., Roscher, L., Lorenz, C., Gerds, G., & Primpke, S. (2018).

Comparison of Raman and Fourier transform infrared spectroscopy for the quantification of microplastics in the aquatic environment. *Environmental Science & Technology*, 52(22), 13279–13288.

- [14]. Chassot, E., Bonhommeau, S., Reygondeau, G., Nieto, K., Polovina, J. J., Huret, M., Dulvy, N. K., & Demarcq, H. (2011). Satellite remote sensing for an ecosystem approach to fisheries management. *ICES Journal of Marine Science*, 68(4), 651–666.
- [15]. Christiani, P., Claes, J., Sandnes, E., & Stevens, A. (2019). Sustainable fisheries: Navigating a sea of troubles with advanced analytics | McKinsey. <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/precision-fisheries-navigating-a-sea-of-troubles-with-advanced-analytics>
- [16]. Colefax, A. P., Butcher, P. A., & Kelaher, B. P. (2018). The potential for unmanned aerial vehicles (UAVs) to conduct marine fauna surveys in place of manned aircraft. *ICES Journal of Marine Science*, 75(1), 1–8.
- [17]. Collie, J. S., Beck, M. W., Craig, B., Essington, T. E., Fluharty, D., Rice, J., Sanchirico, J. N., & others. (2013). Marine spatial planning in practice. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 117, 1–11.
- [18]. Costa, B., Battista, T., & Pittman, S. (2009). Comparative evaluation of airborne LiDAR and ship-based multibeam SoNAR bathymetry and intensity for mapping coral reef ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 1082–1100.
- [19]. De Vos, K., Hart, B., & Ryan, K. (2020). *The Ocean Finance Handbook: Increasing Finance for a Healthy Ocean*. Friends of Ocean Action. <https://www.weforum.org/friends-of-ocean-action/increasing-finance-for-a-healthy-ocean>
- [20]. Del Rio, J., Toma, D. M., Martínez, E., O'Reilly, T. C., Delory, E., Pearlman, J. S., Waldmann, C., & Jirka, S. (2017). A sensor web architecture for integrating smart oceanographic sensors into the semantic sensor web. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 43(4), 830–842.
- [21]. Edwards, J., & Schindler, E. (2017). *A Video Monitoring System to Evaluate Ocean Recreational Fishing Effort in Astoria, Oregon*.
- [22]. Elmasry, G., Kamruzzaman, M., Sun, D.-W., & Allen, P. (2012). Principles and applications of hyperspectral imaging in quality evaluation of agro-food products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(11), 999–1023.
- [23]. Fitzgerald, T. P., Higgins, P. R., Quilligan, E., Sethi, S. A., & Tobin-de la Puente, J. (2020). Catalyzing fisheries conservation investment. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 18(3), 151–158.
- [24]. Fonner, R., & Sylvia, G. (2015). Willingness to pay for multiple seafood labels in a niche market. *Marine Resource Economics*, 30(1), 51–70.
- [25]. Fu, W., Min, J., Jiang, W., Li, Y., & Zhang, W. (2020). Separation, characterization and identification of microplastics and nanoplastics in the environment. *Science of The Total Environment*, 721, 137561.
- [26]. Fujita, R., Cusack, C., Karasik, R., & Takade-Heumacher, H. (2018). *Designing and Implementing Electronic Monitoring Systems for Fisheries: A Supplement to the Catch*

Share Design Manual (p. 63). Environmental Defense Fund.

http://fisherysolutionscenter.edf.org/sites/catchshares.edf.org/files/EM_DesignManual_Final_0.pdf

- [27]. Goodwin, K. D., Thompson, L. R., Duarte, B., Kahlke, T., Thompson, A. R., Marques, J. C., & Caçador, I. (2017). DNA Sequencing as a Tool to Monitor Marine Ecological Status. *Frontiers in Marine Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00107>
- [28]. Greene, C. H., Meyer-Gutbrod, E. L., McGarry, L. P., Hufnagle Jr, L. C., Chu, D., McClatchie, S., Packer, A., Jung, J.-B., Acker, T., Dorn, H., & others. (2014). A wave glider approach to fisheries acoustics: Transforming how we monitor the nation's commercial fisheries in the 21st century. *Oceanography*, 27(4), 168–174.
- [29]. Griffiths, A. G., Kemp, K. M., Matthews, K., Garrett, J. K., & Griffiths, D. J. (2017). Sonic Kayaks: Environmental monitoring and experimental music by citizens. *PLoS Biology*, 15(11), e2004044.
- [30]. Guillot, G., Benoit, P., Kinalis, S., Bastardie, F., & Bartolino, V. (2017). Enhancing and comparing methods for the detection of fishing activity from Vessel Monitoring System data. *ArXiv Preprint ArXiv:1708.09663*.
- [31]. Harris, J. M., Nelson, J. A., Rieucou, G., & Broussard III, W. P. (2019). Use of drones in fishery science. *Transactions of the American Fisheries Society*, 148(4), 687–697.
- [32]. Haukebo, S., Poon, S., Cusack, C., Garren, M., Kenyon-Benson, J., Schindler, E., & Tate, B. (2021). SmartPass: An Innovative Approach to Measure Fishing Effort Using Smart Cameras and Machine Learning. <https://www.edf.org/sites/default/files/content/EDFSmartPass-whitepaper.pdf>
- [33]. Henriques, J., Portillo, J., Gato, L., Gomes, R., Ferreira, D., & Falcão, A. (2016). Design of oscillating-water-column wave energy converters with an application to self-powered sensor buoys. *Energy*, 112, 852–867.
- [34]. Holmes, S., Natale, F., Gibin, M., Guillen, J., Alessandrini, A., Vespe, M., & Osio, G. C. (2020). Where did the vessels go? An analysis of the EU fishing fleet gravitation between home ports, fishing grounds, landing ports and markets. *Plos One*, 15(5), e0230494.
- [35]. Howe, B. M., Miksis-Olds, J., Rehm, E., Sagen, H., Worcester, P. F., & Haralabus, G. (2019). Observing the oceans acoustically. *Frontiers in Marine Science*, 6, 426.
- [36]. Iyer, V., Najafi, A., James, J., Fuller, S., & Gollakota, S. (2020). Wireless steerable vision for live insects and insect-scale robots. *Science Robotics*, 5(44).
- [37]. Jalali, M. A., Ierodionou, D., Gorfine, H., Monk, J., & Rattray, A. (2015). Exploring Spatiotemporal Trends in Commercial Fishing Effort of an Abalone Fishing Zone: A GIS-Based Hotspot Model. *PLOS ONE*, 10(5), e0122995. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122995>
- [38]. Jiorle, R. P., Ahrens, R. N., & Allen, M. S. (2016). Assessing the Utility of a Smartphone App for Recreational Fishery Catch Data. *Fisheries*, 41(12), 758–766.
- [39]. Johnson, A. F., Moreno-Báez, M., Giron-Nava, A., Corominas, J., Erisman, B.,

- Ezcurra, E., & Aburto-Oropeza, O. (2017). A spatial method to calculate small-scale fisheries effort in data poor scenarios. *PLoS One*, 12(4), e0174064.
- [40]. Kachelriess, D., Wegmann, M., Gollock, M., & Pettorelli, N. (2014). The application of remote sensing for marine protected area management. *Ecological Indicators*, 36, 169–177.
- [41]. Kadim, I. T., Mahgoub, O., Baqir, S., Faye, B., & Purchas, R. (2015). Cultured meat from muscle stem cells: A review of challenges and prospects. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 222–233.
- [42]. Keller, K., Steffe, A. S., Lowry, M., Murphy, J. J., & Suthers, I. M. (2016). Monitoring boat-based recreational fishing effort at a nearshore artificial reef with a shore-based camera. *Fisheries Research*, 181, 84–92.
- [43]. Kelly, R. P., Port, J. A., Yamahara, K. M., & Crowder, L. B. (2014). Using Environmental DNA to Census Marine Fishes in a Large Mesocosm. *PLoS ONE*, 9(1), e86175. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086175>
- [44]. Klemas, V. (2013). Fisheries applications of remote sensing: An overview. *Fisheries Research*, 148, 124–136.
- [45]. Kline, L. R., DeAngelis, A. I., McBride, C., Rodgers, G. G., Rowell, T. J., Smith, J., Stanley, J. A., Read, A. D., & Van Parijs, S. M. (2020). Sleuthing with sound: Understanding vessel activity in marine protected areas using passive acoustic monitoring. *Marine Policy*, 120, 104138.
- [46]. Kotwicki, S., Ressler, P. H., Ianelli, J. N., Punt, A. E., & Horne, J. K. (2017). Combining data from bottom-trawl and acoustic-trawl surveys to estimate an index of abundance for semipelagic species. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 999, 1–12.
- [47]. Lamb, J. B., Willis, B. L., Fiorenza, E. A., Couch, C. S., Howard, R., Rader, D. N., True, J. D., Kelly, L. A., Ahmad, A., Jompa, J., & others. (2018). Plastic waste associated with disease on coral reefs. *Science*, 359(6374), 460–462.
- [48]. Lancaster, D., Dearden, P., Haggarty, D. R., Volpe, J. P., & Ban, N. C. (2017). Effectiveness of shore-based remote camera monitoring for quantifying recreational fisher compliance in marine conservation areas. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*.
- [49]. Leape, J., Abbott, M., & Sakaguchi et al., H. (2020). Technology, Data and New Models for Sustainably Managing Ocean Resources. World Resources Institute. www.oceanpanel.org/
- [50]. Levine, M., Thomas, J., Sanders, S., Berger, M., Gagern, A., & Michelin, M. (2020). 2020-Global-Landscape-Review-of-FIPs.pdf. <https://oursharedseas.com/wp-content/uploads/2020/03/2020-Global-Landscape-Review-of-FIPs.pdf>
- [51]. Longépé, N., Hajdich, G., Ardianto, R., Joux, R., Nhunfat, B., Marzuki, M. I., Fablet, R., Hermawan, I., Germain, O., Subki, B. A., & others. (2017). Completing fishing monitoring with spaceborne Vessel Detection System (VDS) and Automatic Identification System (AIS) to assess illegal fishing in Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*.

- [52]. McPartlin, D. A., Lochhead, M. J., Connell, L. B., Doucette, G. J., & O’Kennedy, R. J. (2016). Use of biosensors for the detection of marine toxins. *Essays in Biochemistry*, 60(1), 49–58.
- [53]. Meyer, C. G., & Holland, K. N. (2001). A kayak method for tracking fish in very shallow habitats. In *Electronic tagging and tracking in marine fisheries* (pp. 289–296). Springer.
- [54]. Michelin, M., Elliot, M., Bucher, M., Zimring, M., & Sweeney, M. (2018). Catalyzing the Growth of Electronic Monitoring in Fisheries (p. 64). CEA Consulting. <https://www.ceiconsulting.com/wp-content/uploads/CEA-EM-Report-9-10-18-download.pdf>
- [55]. Michelin, M., & Zimring, M. (2020). Catalyzing the Growth of Electronic Monitoring in Fisheries. Progress Update (p. 74). CEA Consulting. <https://em4.fish/wp-content/uploads/2020/09/Catalyzing-EM-2020report.pdf>
- [56]. Mortensen, L. O., Ulrich, C., Eliassen, S., & Olesen, H. J. (2017). Reducing discards without reducing profit: Free gear choice in a Danish result-based management trial. *ICES Journal of Marine Science*, 74(5), 1469–1479.
- [57]. Natale, F., Gibin, M., Alessandrini, A., Vespe, M., & Paulrud, A. (2015). Mapping Fishing Effort through AIS Data. *PLOS ONE*, 10(6), e0130746. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130746>
- [58]. Ng, Y., Pereira, J. M., Garagic, D., & Tarokh, V. (2020). Robust Marine Buoy Placement for Ship Detection Using Dropout K-Means. *ICASSP 2020-2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 3757–3761.
- [59]. NOAA Fisheries. (2020). Current Conditions of the Northeast U.S. Shelf Ecosystem. NOAA. <https://www.fisheries.noaa.gov/resource/document/current-conditions-northeast-us-shelf-ecosystem>
- [60]. Nyanananda, M. (2017). Smart vessel monitoring system.
- [61]. OECD. (2019). Rethinking INnovation for a Sustainable Ocean Economy. OECD Publishing.
- [62]. Pieterkosky, S., Ziegwied, A., Cavanagh, C., & Thompson, L. (2017). BIV meets ASV: Bio-inspired fish drones and autonomous surface vehicles for coral reef monitoring. *OCEANS 2017-Anchorage*, 1–5.
- [63]. Pittman, S. J., Costa, B. M., & Battista, T. A. (2009). Using lidar bathymetry and boosted regression trees to predict the diversity and abundance of fish and corals. *Journal of Coastal Research*, 10053, 27–38.
- [64]. Plet-Hansen, K. S., Bergsson, H., & Ulrich, C. (2019). More data for the money: Improvements in design and cost efficiency of electronic monitoring in the Danish cod catch quota management trial. *Fisheries Research*, 215, 114–122.
- [65]. Reimers, C. E., & Wolf, M. (2018). Power from benthic microbial fuel cells drives autonomous sensors and acoustic modems. *Oceanography*, 31(1), 98–103.
- [66]. Ritter, A., & Cheung, R. (2019). Accelerating Ocean Conservation. *The Nature*

Conservancy.

- [67]. Runting, R. K., Phinn, S., Xie, Z., Venter, O., & Watson, J. E. (2020). Opportunities for big data in conservation and sustainability. *Nature Communications*, 11(1), 1–4.
- [68]. Santos, A. M. P. (2000). Fisheries oceanography using satellite and airborne remote sensing methods: A review. *Fisheries Research*, 49(1), 1–20.
- [69]. Satterthwaite, W. H., Ciancio, J., Crandall, E., Palmer-Zwahlen, M. L., Grover, A. M., O'Farrell, M. R., Anderson, E. C., Mohr, M. S., & Garza, J. C. (2015). Stock composition and ocean spatial distribution inference from California recreational Chinook salmon fisheries using genetic stock identification. *Fisheries Research*, 170, 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2015.06.001>
- [70]. Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.-U., & Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, 129, 154–162.
- [71]. Selgrath, J. C., Gergel, S. E., & Vincent, A. C. (2017). Incorporating spatial dynamics greatly increases estimates of long-term fishing effort: A participatory mapping approach. *ICES Journal of Marine Science*.
- [72]. Sendra, S., Lloret, J., Jimenez, J. M., & Parra, L. (2015). Underwater acoustic modems. *IEEE Sensors Journal*, 16(11), 4063–4071.
- [73]. Sigsgaard, E. E., Nielsen, I. B., Bach, S. S., Lorenzen, E. D., Robinson, D. P., Knudsen, S. W., Pedersen, M. W., Jaidah, M. A., Orlando, L., Willerslev, E., Møller, P. R., & Thomsen, P. F. (2016). Population characteristics of a large whale shark aggregation inferred from seawater environmental DNA. *Nature Ecology & Evolution*, 1(1), 0004. <https://doi.org/10.1038/s41559-016-0004>
- [74]. Silverman, L. (2016). The App That Aims to Gamify Biology Has Amateurs.
- [75]. Smith, D. V., & Tabrett, S. (2013). The use of passive acoustics to measure feed consumption by *Penaeus monodon* (giant tiger prawn) in cultured systems. *Aquacultural Engineering*, 57, 38–47.
- [76]. Souza, E. N., Boerder, K., Matwin, S., & Worm, B. (2016). Improving fishing pattern detection from satellite ais using data mining and machine learning. *PloS One*, 11(7), e0158248.
- [77]. Stein, B., & Morrison, A. (2014). The enterprise data lake: Better integration and deeper analytics. *PwC Technology Forecast: Rethinking Integration*, 1(1–9), 18.
- [78]. Stephens, N., Dunsford, I., Di Silvio, L., Ellis, M., Glencross, A., & Sexton, A. (2018). Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture.
- [79]. Stillman, J. H., & Paganini, A. W. (2015). Biochemical adaptation to ocean acidification. *Journal of Experimental Biology*, 218(12), 1946–1955.
- [80]. Stoeckle, M. Y., Soboleva, L., & Charlop-Powers, Z. (2017). Aquatic environmental DNA detects seasonal fish abundance and habitat preference in an urban estuary. *PloS One*, 12(4), e0175186.

- [81]. Su, K., Qiu, X., Fang, J., Zou, Q., & Wang, P. (2017). An improved efficient biochemical detection method to marine toxins with a smartphone-based portable system — Bionic e-Eye. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 238, 1165–1172.
<https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.02.092>
- [82]. Sylvia, G., Harte, M., & Cusack, C. (2016). Challenges, Opportunities, and Costs of Electronic Fisheries Monitoring (p. 34). Environmental Defense Fund.
https://www.edf.org/sites/default/files/electronic_monitoring_for_fisheries_report_-_september_2016.pdf
- [83]. Teel, D. J., Burke, B. J., Kuligowski, D. R., Morgan, C. A., & Van Doornik, D. M. (2015). Genetic identification of Chinook salmon: Stock-specific distributions of juveniles along the Washington and Oregon coasts. *Marine and Coastal Fisheries*, 7(1), 274–300.
- [84]. Thomsen, P. F., Møller, P. R., Sigsgaard, E. E., Knudsen, S. W., Jørgensen, O. A., & Willerslev, E. (2016). Environmental DNA from Seawater Samples Correlate with Trawl Catches of Subarctic, Deepwater Fishes. *PLOS ONE*, 11(11), e0165252.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165252>
- [85]. Thuesen, G. (2016). Integrating a mobile accessible electronic system into dockside monitoring: How can small-scale fisheries data collection programs transition from paper-based to digital data collection?
- [86]. Tian, H., Li, Z., Feng, G., Yang, Z., Fox, D., Wang, M., Zhou, H., Zhai, L., Kushima, A., Du, Y., & others. (2021). Stable, high-performance, dendrite-free, seawater-based aqueous batteries. *Nature Communications*, 12(1), 1–12.
- [87]. Tilley, A., Dos Reis Lopes, J., & Wilkinson, S. P. (2020). PeskAAS: A near-real-time, open-source monitoring and analytics system for small-scale fisheries. *PloS One*, 15(11), e0234760.
- [88]. Toonen, H. M., & Bush, S. R. (2020). The digital frontiers of fisheries governance: Fish attraction devices, drones and satellites. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 22(1), 125–137.
- [89]. Treasure, A. M., Roquet, F., Ansoorge, I. J., Bester, M. N., Boehme, L., Bornemann, H., Charrassin, J.-B., Chevallier, D., Costa, D. P., Fedak, M. A., & others. (n.d.). *Marine Mammals Exploring the Oceans Pole to Pole*. *Oceanography*, 30(2), 132.
- [90]. Vance, T. C., Wengren, M., Burger, E., Hernandez, D., Kearns, T., Medina-Lopez, E., Merati, N., O'Brien, K., O'Neil, J., Potemra, J. T., & others. (2019). From the oceans to the cloud: Opportunities and challenges for data, models, computation and workflows. *Frontiers in Marine Science*, 6, 211.
- [91]. Verhelst, P., Reubens, J., Goethals, P., Mouton, A., & Moens, T. (2016). Acoustic telemetry as a tool for cod stock assessment. *North Sea Open Science Conference*.
- [92]. Vitale, A. J., Perillo, G. M., Genchi, S. A., Arias, A. H., & Piccolo, M. C. (2018). Low-cost monitoring buoys network tracking biogeochemical changes in lakes and marine environments—a regional case study. *Pure and Applied Chemistry*, 90(10), 1631–1646.
- [93]. Voosen, P. (2018). Saildrone fleet could help replace aging buoys. *American Association for the Advancement of Science*.

- [94]. Wedding, L. M., Friedlander, A. M., McGranaghan, M., Yost, R. S., & Monaco, M. E. (2008). Using bathymetric lidar to define nearshore benthic habitat complexity: Implications for management of reef fish assemblages in Hawaii. *Remote Sensing of Environment*, 112(11), 4159–4165.
- [95]. World Bank and United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2017). *The Potential of the Blue Economy: Increasing Long-term Benefits of the Sustainable Use of Marine Resources for Small Island Developing States and Coastal Least Developed Countries*. World Bank.
<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/2446blueeconomy.pdf>
- [96]. World Economic Forum. (2017). *WEF_Harnessing_4IR_Oceans.pdf*.
http://www3.weforum.org/docs/WEF_Harnessing_4IR_Oceans.pdf
- [97]. Xu, J.-L., & Sun, D.-W. (2017). Identification of freezer burn on frozen salmon surface using hyperspectral imaging and computer vision combined with machine learning algorithm. *International Journal of Refrigeration*, 74, 151–164.
- [98]. Yamahara, K. M., Preston, C. M., Birch, J., Walz, K., Marin III, R., Jensen, S., Pargett, D., Roman, B., Ussler III, W., Zhang, Y., & others. (2019). In situ autonomous acquisition and preservation of marine environmental DNA using an autonomous underwater vehicle. *Frontiers in Marine Science*, 6, 373.
- [99]. Zander, K., & Feucht, Y. (2018). Consumers' willingness to pay for sustainable seafood made in Europe. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*, 30(3), 251–275.
- [100]. Zhan, Z. (2020). Distributed acoustic sensing turns fiber-optic cables into sensitive seismic antennas. *Seismological Research Letters*, 91(1), 1–15.



美国总部

257 Park Avenue South
New York, NY 10010
212-505-2100

edf.org
resilientseas.org

得克萨斯州 奥斯汀
301 Congress Avenue
Austin, TX 78701
512-478-5161

北卡罗来纳州 罗利
4000 Westchase Boulevard
Raleigh, NC 27607
919-881-2601

印度尼西亚 雅加达
Jl. RS Fatmawati Raya No.15
Komplek Perkantoran Golden
Plaza, Blok E No.12
Jakarta Selatan 12420
Indonesia
+62-21-769-8829

阿肯色州 本顿维尔
1116 South Walton Boulevard
Bentonville, AR 72712
479-845-3816

加利福尼亚州 旧金山
123 Mission Street
San Francisco, CA 94105
415-293-6050

墨西哥 拉巴斯
Revolución No. 345
E/5 de Mayo y Constitución
Col. Centro, CP 23000
La Paz, Baja California Sur,
Mexico
+52-612-123-2029

马萨诸塞州 波士顿
18 Tremont Street
Boston, MA 02108
617-723-2996

华盛顿特区
1875 Connecticut Avenue,
NW
Washington, DC 20009
202-387-3500

英国 伦敦
6 Borough High Street
London, SE1 9QQ, UK
+44-203-310-5909

科罗拉多州 博尔德
2060 Broadway
Boulder, CO 80302
303-440-4901

中国 北京
中国北京东城区安定门东大
街 28 号雍和大厦 C-501
邮编 100007
+86-10-6409-7088