



· 综述 ·

## 海洋捕捞技术、渔具渔法研究进展与趋势

王鲁民<sup>1</sup>, 王忠秋<sup>1,2\*</sup>

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090;

2. 青岛海洋科技中心, 山东 青岛 266237)

**摘要:** 综合应用船舶、机械、信息、新材料等技术, 从海洋中捕捞经济渔获物并综合利用, 是现代海洋捕捞业的主要特征。海洋捕捞技术的发展和创, 对保障我国食物安全、保护近海生态与资源、实现渔民增收和新渔村建设、推动渔业产业结构调整和转型、维护我国海洋权益等方面具有非常重要的作用。本文通过简析海洋捕捞渔场探测、渔具渔法与高效自动化辅渔助渔技术等方面的研究进展, 提出海洋捕捞技术的重点发展方向, 以期为我国海洋捕捞实现节能高效、生态友好和资源可持续利用, 海洋捕捞技术升级和产业高质量发展提供参考。

**关键词:** 海洋渔业; 捕捞技术; 渔场探测; 渔具渔法; 辅渔助渔

**中图分类号:** S 973

**文献标志码:** A

海洋捕捞作为传统的海洋产业, 是海洋渔业的重要组成部分。进入 21 世纪, 世界各沿海国家均把开发海洋、发展海洋经济和海洋产业作为主要方向, 其中海洋捕捞渔业更是发展的重要内容。根据联合国粮农组织统计, 2020 年全球海洋捕捞产量 0.788 亿 t, 占渔业总产量的 44.2%<sup>[1]</sup>。海洋捕捞产业不仅为人类提供了丰富的蛋白质来源, 同时也支撑着养殖业和加工业的发展<sup>[2]</sup>。我国是海洋捕捞渔业大国, 渔船数量、从业人数和捕捞产量等均排在世界前列。2022 年, 我国近海海洋捕捞产量为 950.85 万 t, 远洋捕捞产量为 232.98 万 t; 渔业产值 15 267.49 亿元, 其中海洋捕捞产值 2 488.91 亿元<sup>[3]</sup>。海洋捕捞作为重要的食物和优质蛋白来源, 有效保障了我国粮食安全<sup>[4-8]</sup>, 促进了渔民收入持续增长和农业农村经济结构调整, 有力推动了社会主义新农村建设<sup>[6-7]</sup>, 维护了国家海洋安全<sup>[6-9]</sup>。

为了缓解长期以来的捕捞压力问题, 遏制我国近海传统渔业资源的衰退和海洋生态环境恶化。自 20 世纪 90 年代, 我国政府主管部门陆续出台了海洋伏季休渔制度、渔船“双控”制度、海洋捕捞“零增长”等一系渔业管理措施, 不断强化对近海捕捞的控制和规范管理。2015 年我国近海海洋捕捞产量达到顶峰 1 314.78 万 t 后连续多年呈现“负增长”模式, 2020 以后保持在 950 万 t 左右。远洋渔业生产规模虽有动态变化, 但整体发展平稳, 2022 年远洋捕捞产量 232.98 万 t<sup>[3]</sup>, 远洋渔业产业结构趋于合理化, 生产布局重点从西非、北太平洋、南美、西南太平洋和南亚 5 个地区, 逐步扩展到太平洋、印度洋、东南太平洋和西南大西洋。远洋渔业有效保障了国内对于水产品不断增长的需求, 减轻了我国近海渔业资源压力, 提供了大量的就业岗位, 拉动了相关产业的发展,

收稿日期: 2023-10-19 修回日期: 2023-11-06

资助项目: 青岛海洋科技中心专项 (2022QNLM030002-2); 上海市科学技术委员会青年科技英才扬帆计划 (23YF1459700)

第一作者: 王鲁民(照片), 从事渔业捕捞技术研究, E-mail: lmwang@ecsf.ac.cn

通信作者: 王忠秋, 从事渔具渔法研究, E-mail: wangzq@ecsf.ac.cn



促进了渔业产业结构调整, 维护了我国海洋权益, 增强了国家深远海活动能力, 提升了在国际渔业市场上的份额与地位<sup>[10-11]</sup>。

总体而言, 现阶段我国海洋捕捞产业的发展方式仍属粗放型, 近海捕捞压力依然过大, 远洋和极地公海渔业资源竞争力有待提高, 海洋捕捞整体科技水平与国外仍存在一定差距<sup>[11-13]</sup>。为满足我国不断增长的水产品需求, 提升我国海洋捕捞装备与技术的现代化水平, 提高海洋捕捞效率并保护海洋生态环境。本文围绕海洋捕捞渔业装备与技术的发展历程, 从渔场探测、渔具渔法以及海洋捕捞辅助渔技术等方面简析主要研究进展, 提出我国捕捞渔业技术的重点发展方向, 以期为实现我国海洋捕捞业的可持续和高质量发展提供参考。

## 1 海洋捕捞技术的发展历程

海洋捕捞技术的发展历史漫长。据推测最早的捕鱼方法是用手摸鱼、木棒打鱼、木刀砍鱼等<sup>[14-15]</sup>。旧石器晚期, 出现了用鱼叉叉鱼的方法, 我国这一时期的遗址出土了石链、标枪头和脱柄鱼镖等渔猎工具<sup>[14, 16]</sup>。东南沿海地区出土了大量新石器早期的石、骨质镞, 骨鱼镖、鱼钩、鱼叉、投枪头, 以及各式网坠等捕鱼工具。新石器中晚期, 发明了各式鱼钩、钓鱼新方法和水上活动工具。舟船使人们不受自然环境的约束, 可以到湖泊中心、河流深处以及近海沿岸从事捕鱼活动; 网捕方法则提高了捕捞效率, 捕鱼量大增, 为人们提供了更多的食物来源<sup>[14]</sup>。公元 10 世纪前后, 人类开始规模化海洋捕捞活动<sup>[17]</sup>。19 世纪中后期, 西方国家将工业革命以来出现的动力机器应用于渔业生产, 推动了渔业向工业化迈进。19 世纪 60 年代中期法国利用蒸汽机机动渔船进行捕捞生产; 随后英国将蒸汽机用于舷拖网渔船。蒸汽机拖网船因其经济性、自持力、抗风浪等性能均优于风帆渔船, 这对海洋渔业规模的扩大和作业海区的开拓都起着重大作用, 很快流行于世界各国<sup>[18-20]</sup>。

进入 20 世纪, 随着工业基础、制造业和机械化水平的提升, 拖网网板、冷冻加工装备、超强聚乙烯纤维材料、机电液压自动化控制、卫星遥感、无线电通信、渔用声纳探鱼仪以及网位仪等系列装备与技术应用于海洋捕捞装备领域, 促进

了海洋捕捞装备和技术的快速发展<sup>[19-24]</sup>。20 世纪 50 年代中期, 英国建造了世界上第一艘大型艉滑道拖网渔船“Fair Try”号, 随后欧美大型艉滑道拖网加工渔船得到了迅速发展, 为远洋捕捞和全球渔业贸易铺平了道路, 提高了渔具捕捞作业性能和生产效率, 推动了大型高效节能捕捞渔具以及远洋渔业的发展, 推进了渔业现代化进程<sup>[20]</sup>。随着海洋捕捞强度的持续增加以及环境变迁的影响, 一些经济价值较高的鱼类资源逐渐减少, 海洋渔业资源的捕捞开发呈现明显的不可持续性, 引起各国政府与国际组织的普遍关注<sup>[25-26]</sup>。国内外学者在生态友好型渔具渔法、高效节能、海洋捕捞管理等方面展开了大量研究, 以保护幼鱼及释放副渔获物为主要目标的选择性渔具研发取得显著进展, 逐步实现了对重要经济鱼类的选择性捕捞<sup>[27-28]</sup>。进入 21 世纪, 可持续发展成为世界共识, 海洋捕捞可持续发展的目标是在 2030 年结束过度捕捞、增加可持续渔业经济效益、降低海洋污染等<sup>[29]</sup>。

## 2 海洋捕捞渔具渔法

海洋捕捞的渔具渔法是直接用于捕捞的工具与作业方法和技术, 是人类在海洋中获取食物的主要手段与生产环节。我国的渔具种类繁多, 现代渔具分类体系也较完善。根据中国国家标准 GB/T5147—2003《渔具分类、命名及代号》, 依据捕捞原理、结构特征和作业方式, 采用类、型、式三级分类, 以捕捞原理划分“类”, 在同“类”渔具中以其结构特征划分“型”, 在同一“类”和“型”的渔具中以其作业方式划分“式”。依据捕捞原理的渔具分类包括刺网类、围网类、拖网类、地拉网类、张网类、敷网类、抄网类、掩罩类、陷阱类、钓具类、耙刺类、笼壶类等 12 类。近年来, 渔具材料不断更新换代以及其物理性能、渔用适应性能的不提高, 为捕捞渔具尤其是远洋捕捞网具的大型化及其高效节能提供了有利条件<sup>[28]</sup>。生态友好型渔具开发方面, 国内外致力于渔业资源的可持续捕捞并有针对性地开展减少渔具对海龟、哺乳动物等大型海洋动物的影响<sup>[30-32]</sup>、渔具对底栖环境的破坏<sup>[33-36]</sup>, 以及抛弃与丢失渔具的幽灵捕捞<sup>[37-38]</sup>等问题的创新和实践。

### 2.1 渔具材料

国外渔业发达国家早在 20 世纪 50 年代就已

经开始使用合成纤维制造渔具<sup>[23]</sup>。随着高分子新材料的不断研发成功以及化纤工业技术的进步, 20 世纪 80 年代后期, 丹麦、荷兰、冰岛等国家在渔具的制造中使用了超强聚对苯二甲酰对苯二胺 (PPTA) 纤维、超强聚乙烯纤维等替代聚乙烯网线, 使同等强力网线的直径可减少约 50%, 并逐步应用于中层拖网、浮拖网、底拖网和围网等渔具<sup>[39-42]</sup>, 超强纤维材料的应用极大提高了网具的滤水性能, 为渔业生产尤其是海洋捕捞业高效、低耗渔具的发展提供了有力的技术支持<sup>[43]</sup>。聚琥珀酸丁二醇酯 (PBS) 和聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBAT) 混合材料、聚丁烯琥珀酸等生物可降解材料为缓解废弃渔具的环境污染提供新的途径<sup>[44-48]</sup>。我国渔用纤维材料的应用研究始于 20 世纪 60 年代, 陆续开发了渔用聚乙烯、聚酰胺 (锦纶) 等合成纤维。其后由于国内渔具生产厂商多数都是小规模企业, 对于渔具材料的研发能力较低, 渔具材料基本沿用聚乙烯及锦纶作为主体材料, 结构形式以三股捻线、绳为主。进入新世纪, 国内在渔用材料方面创新较多, 包括高强度渔用聚乙烯材料、超高分子量聚乙烯材料以及不同材料的混溶、混纺以及不同线结构的网线、网片等<sup>[28, 49]</sup>。此外, 研发了聚乳酸 (PLA) 材料、淀粉/可降解聚酯共混材料等生物可降解材料<sup>[23, 50]</sup>。但是与国外相比, 我国在高性能材料的系列化研发、渔具适配应用研究、效能评价以及应用范围 (所用渔具种类、应用量和应用区域) 等方面仍存在一定差距。

## 2.2 高效节能渔具

《联合国海洋法公约》生效后, 在新的世界海洋环境资源管理体制下, 世界各国更加重视自身海洋权益, 不但加强专属经济区内的渔业资源的保护, 而且不断加大大洋、极地渔业资源的开发利用, 促进了世界远洋渔业的发展, 使全球大洋性渔业捕捞产量不断上升。我国海洋渔具捕捞技术在 20 世纪六七十年代经历过一段高速发展, 随后由于海洋渔业资源衰退、国营渔业企业生产规模萎缩等影响, 缺乏对海洋捕捞渔具的重视与科技投入, 造成我国在高效节能与资源环境友好型渔具渔法研发与应用方面和国外渔业发达国家之间的差距逐渐增大。自 20 世纪 80 年代初期, 桁杆虾拖网、中层拖网、鱿鱼钓、金枪鱼钓以及金枪鱼围网等渔具技术多引自国外<sup>[49]</sup>。进入 21 世纪, 在国家科技项目支持下, 相关科研单位针对

过洋、大洋和极地海洋捕捞对象行为特征, 自主创新浅表层、中层和底层远洋捕捞技术与自扩张、双联式和混合结构等渔具装备, 创新南极磷虾生态高效捕捞技术, 促进了我国海洋渔业捕捞装备的技术升级与国产化<sup>[51]</sup>。但在南极磷虾连续捕捞等新型高效节能渔具研发及应用方面仍待加强与推广。

## 2.3 生态友好型渔具

海洋捕捞渔业的健康可持续发展是渔业科技研究和产业发展的趋势。随着《联合国海洋法公约》以及《负责任渔业行为守则》等一系列国际文书被广泛接受<sup>[29]</sup>。一些发达国家和地区就开始注重渔具对生态系统的影响, 开展生态环保型渔具渔法研究。相继研制了拖网海龟释放装置 (turtle excluder devices, TED)<sup>[31]</sup>、渔获物分离装置 (the system of unwhants ramp-way filtered-bycatch reduction device, SURF-BRD)<sup>[52]</sup>、副渔获物减少装置 (bycatch reduction devices, BRDs)<sup>[53-55]</sup>、渔获物选择装置 (Sort-x)<sup>[56-57]</sup> 及选择性捕虾装置 (Disela II)<sup>[58]</sup> 等各种类型的选择性渔具装置, 利用水下摄像和鱼种识别系统实现兼捕个体的选择性释放<sup>[59-60]</sup>。在金枪鱼延绳钓和围网渔业, 研发了防海龟、海鸟和鲨鱼误捕的特种金枪鱼钓钩和相关装备, 以及生态型人工集鱼装置以减少海龟、鲨鱼缠绕和误捕<sup>[61-62]</sup>; 开发了可减少被遗弃渔具幽灵捕捞的渔具材料, 使用具有选择性、环境友好和综合效益高的渔具渔法<sup>[63-65]</sup>。我国自 20 世纪 80 年代开展了增大网目尺寸<sup>[66-69]</sup>、改进网目形状与结构<sup>[70-72]</sup> 以及释放装置<sup>[73]</sup> 等提高目标物种的尺寸选择性, 开发了分隔网片<sup>[74-77]</sup> 和刚性分隔栅栏<sup>[78-79]</sup> 等虾/鱼分离装置以减少非目标种类兼捕等研究。但是这些研究多是针对单鱼种的短期试验, 缺乏长期系统试验、统一标准和不同试验方法的比较研究<sup>[80]</sup>。仍需持续开展生态型渔具渔法、渔具最小网目尺寸研究与标准制订等, 为我国海洋捕捞准用渔具制度的实施提供科学依据。

## 3 海洋捕捞辅助渔具装备与技术

随着卫星遥感技术、无线电通信技术、现代声学技术、机电液压自动化控制技术等信息与机械技术的飞速发展。渔业生产管理信息服务系统、水平与垂直探鱼仪、渔具状态监测仪以及绞机自动控制仪等系列辅助渔具装备的应用, 推



进了海洋捕捞渔业的现代化进程, 提高了海洋捕捞的信息化和自动化程度<sup>[24]</sup>。

### 3.1 信息支持技术

海洋捕捞效率的提高一方面依赖于捕捞装备, 另一方面依赖于外界的信息支持。充分应用空间观测等信息技术, 提高渔场搜寻效率, 减少渔船能源消耗。自 20 世纪 90 年代起, 与日、美、法等国同步, 我国已陆续建立了基于 4S(RS、GIS、GPS、ES) 技术的渔场渔情分析速预报以及渔业生产管理信息服务系统, 可及时快速地获取大范围、高精度的渔场信息, 提高了海洋捕捞生产效率。建立了中国远洋渔业网、中国渔业遥感信息情报网等, 开发出一批有较高实用价值的数据库和信息服务系统; 构建了主要的远洋渔业捕捞生产数据库, 渔场遥感环境数据库, 远洋鱿鱼、金枪鱼和竹筴鱼渔场的综合数据库等系列数据库, 为我国渔业管理和国际渔业谈判等提供了大量的基础性数据。然而, 仍需高度重视渔场、资源的调查与探捕, 并结合渔业生产企业自行组成行业联盟或协会, 通过集体的物力与人力, 开展各项调查工作与信息集成应用, 提高作业区域和渔场渔情预报准确度, 增强资源渔场和作业信息实时共享的实现技术与机制研究, 减少生产航行的盲目性, 提高生产效率<sup>[49]</sup>。

### 3.2 资源渔场探测装备与技术

海洋渔业声学装备作为探测海洋生物的重要装备, 对于渔业资源精准探查、渔场快速定位并实时跟踪有着极其重要的作用<sup>[81-85]</sup>。随着声学信号处理技术及超大规模集成器件的迅速发展, 单体鱼识别与跟踪技术<sup>[85]</sup>、全方位宽带多波束技术<sup>[86-88]</sup> 成为渔业声学探测的主要发展方向。利用回波的频差技术进行有鳔鱼类、无鳔鱼类和浮游动物的声学识别, 解决了有鳔鱼类和浮游动物的回波区分问题。此外, 运用目标跟踪技术可对海洋生物的运动轨迹、游动速度及方向等参数进行测算<sup>[89-91]</sup>。在海洋生物追踪方面表现出良好的应用前景, 国外科学家陆续提出基于多波束回声探测系统的最近邻域算法并用以跟踪动物行为<sup>[92-93]</sup>。挪威的 Simrad EK80 科学探鱼仪、德国的 Bionics 探鱼仪和美国的 DIDSON 声学摄像机等新一代探鱼设备的推出, 提高了渔业资源探测与评估的科学性和有效性。受关键信号处理器件、传感器

技术等一些关键技术发展水平的制约, 国内渔业声学装备关键技术距世界先进水平仍有较大差距, 高端装备主要依赖进口。我国仍需在渔业声学探测技术与仪器的许多关键技术、测试和试验工具、试验方法等方面进行体系化研究<sup>[94-96]</sup>。探测设备的抗干扰方法、鱼类声学散射信号特征提取方法、鱼群高分辨率探测及成像技术等多项关键技术, 还需要进行高集成产品化开发与应用。

### 3.3 捕捞自动化与辅渔助渔技术

国外渔业发达国家相当注重助渔仪器的研发与使用, 配备的助渔仪器比较齐全。大型拖网、围网等渔船一般采用先进的液压传动与电气自动控制装备, 设备操作安全、灵活, 自动化程度高。在拖网捕捞装备方面, 实现了起放网电液控制自动化、拖曳过程曳纲平衡控制, 并结合助渔仪器探测信号实现了作业水层的自动调整。在金枪鱼围网捕捞装备方面, 美式金枪鱼围网渔船的设备多, 捕捞机械自动化程度高, 所有设备都采用中高压传动以及自动化电气控制技术, 大部分捕捞作业都是由设备自动完成, 降低了渔捞人员的劳动强度, 同时提高了生产安全性和捕捞效率。欧洲围网作业除采用绞纲机、理纲机外还常采用多滚筒起纲机, 整个围网作业基本实现自动化操作, 作业效率高。大型专业超低温延绳钓船主要使用成套的日式扬绳机、理绳机、投绳机。近年来, 国内已相继开发了远洋围网高效捕捞成套装备的自动控制系统, 包括落地式起纲机、动力滑车、并列式双滚筒起纲绞机、液压离合器泵站、液压集中操作遥控系统; 首次采用负载敏感调速技术, 提高了系统设备操作的协调性和自动化水平<sup>[24]</sup>; 研制并配置了起钓干绳、支线的起钓设备, 输送干绳和存储干绳的辅助设备, 自动装饵和抛绳的放绳设备, 以及操作协调这些设备自动运行的控制系统。鱿鱼钓捕捞采用电力传动与微电子控制技术, 实现了起放钓循环控制及模拟饵料仿生运行自动控制, 研发了自动鱿鱼钓机、自动脱盘、自动输送带输送渔获物等捕捞自动化技术<sup>[24, 97]</sup>。与欧美等渔业国家相比, 我国海洋捕捞装备发展需以自动化、标准化和集成化为方向, 开展捕捞装备自动化控制和助渔仪器系统集成研发, 提高甲板机械、舱室设备等配套设备的标准化和通用性, 实现设备的智能化控制和维护、自动化操作等<sup>[24, 98]</sup>。从而降低海洋捕捞渔业劳动强度, 提高

捕捞效率, 增强我国海洋捕捞渔业竞争力。

## 4 海洋捕捞技术的发展趋势

我国海洋捕捞渔业的创新发展, 必须要面向近海与远洋捕捞可持续发展目标, 紧密结合产业发展的实际, 接轨国际海洋环境生态保护和规范化管理理念, 平衡捕捞效益和生态效应, 重视可持续发展捕捞技术相关基础和应用基础研究、加强近海生态及环境友好型渔具渔法研发、开拓发展生态高效远洋捕捞技术、创新发展基于信息和新材料应用等共性支撑技术。

### 4.1 强化可持续发展捕捞技术的相关基础和应用基础研究

研究鱼类和鱼群行为是渔业资源保护和管理、生态友好捕捞的重要理论基础, 开展鱼类行为与外部环境关系、鱼类对外部刺激行为反应、鱼类游泳行为、鱼群在渔具渔获过程中逃避行为反应以及鱼群集群机制和行为控制方法的研究, 以及近海捕捞渔具捕捞能力评估及其对环境影响评价的系统研究, 是研发并应用生态友好型渔具渔法、建立准用渔具管理制度、完善不同类型渔具的最小网目尺寸标准, 支撑近海与远洋捕捞业健康持续发展的重要基础。

### 4.2 加强近海环境生态友好渔具渔法研发与应用

研究各种渔具选择性能、最小网目尺寸、选择性装置、副渔获物逃逸死亡以及选择性渔具综合性能, 开发应用适于不同作业区域、对象和作业方式的非目标渔种释放技术与装备, 加强生态型渔具渔法的研发和应用; 推进近海捕捞准用渔具制度的建立与实施, 强化国家层面的规划与支持, 系统分析我国近海捕捞渔具性能, 建立我国近海捕捞准用渔具目录, 科学制订准用渔具最小网目尺寸等准用条件, 完善准用渔具实施的评价、检验等相关支持技术与管理措施。研发对底栖环境无损伤或低损伤的近底层拖网渔具渔法, 研制减少“幽灵捕捞”的绿色可降解新材料, 开展适用不同海区渔场资源的拖网或张网选择性装置研究, 逐步细化明确准用渔具的作业渔区和渔期, 实施渔具标识以实现渔具全周期追溯管理。通过应用示范、宣传培训、政策引导以及强化管理, 促进生态及环境友好渔具渔法的生产应用。

### 4.3 开拓发展生态高效远洋捕捞技术

以提升我国公海大洋性生物资源开发的质量效益, 增强公海渔业的国际竞争力为目标导向, 加强远洋捕捞装备核心技术创新以及成套系列技术设备集成。通过技术创新和应用, 提高以绿色能源为基础的大型捕捞加工一体化渔船设计建造、渔船性能优化与标准化和以捕捞、船载加工、大型船队补给服务效率为目标的支持技术与装备研发能力; 加强自动化捕捞装备系统开发与集成, 包括船载渔情信息自动接收分析系统与应用、自动化钓捕设备研发与集成、甲板机械自动控制、网具监控装备与系统、三维探鱼仪研发及精准探测技术以及船舶信息一体化集成平台开发应用; 增强以南极磷虾为主要捕捞对象, 生态友好和优质高效捕捞为目标的渔场精准探查、生态型渔具、连续捕捞技术和成套化技术装备的创新研究。为推进我国远洋与极地渔业技术升级和自主技术体系构建奠定基础。

### 4.4 创新发展基于信息和新材料应用的共性支撑技术

通过产学研紧密结合, 瞄准海洋捕捞渔业产业链中的重点共性关键技术, 以空间技术、信息技术、电子技术、通信技术、物联网、人工智能等新技术的应用, 开发以提高资源利用效率和经济效益为目标、信息化和智能化为特征的关键技术与终端装备, 增强高效开发和利用海洋渔业资源的能力与效率。整合海洋渔业信息系统, 建立网络化的数据收集及管理系统, 建立完善的服务支持系统, 为海洋渔业科学研究和管理决策提供必要的资料和技术支持。以节能、功能性和环境友好新材料的专题应用示范和推广为重点, 突出新技术的集成应用和创新, 加强绿色渔用新材料、渔具标识与全过程追溯、渔具防丢/遗弃与无公害回收再利用等关键技术和系统的研发与应用, 推动海洋捕捞技术升级和产业模式优化, 实现我国近海与远洋捕捞产业的健康可持续和高质量发展。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

#### 参考文献 (References):

- [1] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2022[R]. Rome: FAO, 2022.

- [2] 李红艳, 姜晓东, 王颖, 等. 基于灰色预测模型的我国海洋渔业发展趋势分析[J]. 渔业信息与战略, 2021, 36(2): 88-95.  
Li H Y, Jiang X D, Wang Y, *et al.* Analysis on development trend of marine fishery in China based on grey prediction model[J]. *Fishery Information & Strategy*, 2021, 36(2): 88-95 (in Chinese).
- [3] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2023 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2023.  
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. 2023 China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023 (in Chinese).
- [4] 李大海, 韩立民. 陆海统筹构建粮食安全保障新体系研究[J]. 社会科学辑刊, 2019(6): 109-117.  
Li D H, Han L M. Research on building a new system of food security guarantee through land and sea coordination[J]. *Social Science Journal*, 2019(6): 109-117 (in Chinese).
- [5] 翟璐, 孙兆群, 王波, 等. 基于灰色预测模型的我国海洋渔业发展趋势研究[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(13): 342-346.  
Zhai L, Sun Z Q, Wang B, *et al.* Study on development of China's marine fisheries based on GM (1, 1) model[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(13): 342-346 (in Chinese).
- [6] 丁燕楠, 高小玲. 全球海洋渔业产业格局与投资趋势分析[J]. 海洋开发与管理, 2016, 33(9): 59-64.  
Ding Y N, Gao X L. The Industrial structure and investment trends of global marine fisheries[J]. *Ocean Development and Management*, 2016, 33(9): 59-64 (in Chinese).
- [7] 刘洋, 裴兆斌, 姜义颖. 新常态下我国“蓝色粮仓”建设研究[J]. 海洋开发与管理, 2017, 34(12): 3-8.  
Liu Y, Pei Z B, Jiang Y Y. The construction of 'Blue Granary' in new normal[J]. *Ocean Development and Management*, 2017, 34(12): 3-8 (in Chinese).
- [8] 刘子飞, 孙慧武, 岳冬冬, 等. 中国新时代近海捕捞渔业资源养护政策研究[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(12): 1-8.  
Liu Z F, Sun H W, Yue D D, *et al.* Research on China's maintenance policy for marine capture fishery resources in the new era[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2018, 20(12): 1-8 (in Chinese).
- [9] 龙进霞, 陈佳怡, 徐汉祥, 等. 基于绿色发展的我国近海渔业可持续性战略思考[J]. 海洋开发与管理, 2021, 38(11): 11-17.  
Long J X, Chen J Y, Xu H X, *et al.* Strategic thinking on sustainability of inshore fishery resources in China based on the concept of green development[J]. *Ocean Development and Management*, 2021, 38(11): 11-17 (in Chinese).
- [10] 张兰婷, 王波, 秦宏. 论我国“蓝色粮仓”发展模式的构建[J]. 山东大学学报(哲学社会科学版), 2018(5): 36-44.  
Zhang L T, Wang B, Qin H. On the construction of development mode of Blue Granary in China[J]. *Journal of Shandong University (Philosophy and Social Sciences)*, 2018(5): 36-44 (in Chinese).
- [11] 李涵, 韩立民. 远洋渔业的产业特征及其政策支持[J]. 中国渔业经济, 2015, 33(6): 68-73.  
Li H, Han L M. Characteristics and policy support of distant fishery[J]. *Chinese Fisheries Economics*, 2015, 33(6): 68-73 (in Chinese).
- [12] 刘禹希, 陈琛, 林香红. 南极渔业资源开发利用现状及启示[J]. 中国渔业经济, 2023, 41(2): 117-126.  
Liu Y X, Chen C, Lin X H. Current situation and enlightenment of exploitation and utilization of Antarctic fishery resources[J]. *Chinese Fisheries Economics*, 2023, 41(2): 117-126 (in Chinese).
- [13] 史磊, 秦宏, 刘龙腾. 世界海洋捕捞业发展概况、趋势及对我国的启示[J]. 海洋科学, 2018, 42(11): 126-134.  
Shi L, Qin H, Liu L T. Development situation and trend of world marine fishing industry and its enlightenment to China[J]. *Marine Sciences*, 2018, 42(11): 126-134 (in Chinese).
- [14] 曲石. 从考古发现看我国古代捕鱼的起源与发展[J]. 农业考古, 1986(2): 220-225.  
Qu S. On the Origin and development of ancient fishing in China from archaeological discoveries[J]. *Agricultural Archaeology*, 1986(2): 220-225 (in Chinese).
- [15] 宋兆麟. 古老的捕鱼技巧[J]. 化石, 1979(2): 23-24.  
Song Z L. Ancient fishing techniques[J]. *Fossils*, 1979(2): 23-24 (in Chinese).
- [16] 安家瑗. 小孤山发现的骨鱼镖——兼论与新石器时代骨鱼镖的关系[J]. 人类学学报, 1991, 10(1): 12-18.  
An J Y. A harpoon unearthed in Xiaogushan site——also on the relations with the detachable head



- harpoon of Neolithic[J]. *Acta Anthropologica Sinica*, 1991, 10(1): 12-18 (in Chinese).
- [17] 方海, 阮雯, 纪炜炜, 等. 世界古代渔业史源和发展概述[J]. *渔业信息与战略*, 2019, 34(3): 180-187.
- Fang H, Ruan W, Ji W W, *et al.* On historical sources of world ancient fishery and its development[J]. *Fishery Information & Strategy*, 2019, 34(3): 180-187 (in Chinese).
- [18] 施鼎钧. 辉煌的中国渔业史[J]. *北京水产*, 1999(6): 39-40.
- Shi D J. The glorious history of Chinese fisheries[J]. *Journal of Beijing Fisheries*, 1999(6): 39-40 (in Chinese).
- [19] 沈汉祥. V·D·式拖网的历史及在我国的应用[J]. *中国水产*, 1989(11): 42-43.
- Shen H X. The history and application of V. D. trawl in China[J]. *China Fisheries*, 1989(11): 42-43 (in Chinese).
- [20] 陈龙, 贾复. 远洋拖网渔船的演变发展过程[J]. *现代渔业信息*, 1996, 11(3): 1-6.
- Chen L, Jia F. The development process of distant trawlers[J]. *Modern Fishery Information*, 1996, 11(3): 1-6 (in Chinese).
- [21] 施彬. 电子技术在海洋渔业方面的应用[J]. *电子技术*, 1964(3): 11-14.
- Shi B. The application of electronic technology in marine fisheries[J]. *Electronic Technology*, 1964(3): 11-14 (in Chinese).
- [22] 顾嗣明. 水平探鱼仪在东、黄海渔场适用性的探讨[J]. *渔业现代化*, 1979(3): 26-29,41.
- Gu S M. Discussion on the applicability of horizontal fish probe in fishing grounds of the East and Yellow Seas[J]. *Fishery Modernization*, 1979(3): 26-29,41 (in Chinese).
- [23] 王鲁民. 超强纤维材料的试验研究及其在渔业中的应用前景[J]. *水产学报*, 2000, 24(5): 480-484.
- Wang L M. Advances in the experiment study of ultra-high strength fibers and its application in fishery[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2000, 24(5): 480-484 (in Chinese).
- [24] 徐皓, 张建华, 丁建乐, 等. 国内外渔业装备与工程技术研究进展综述(续)[J]. *渔业现代化*, 2010, 37(3): 1-5,19.
- Xu H, Zhang J H, Ding J L, *et al.* The review of the research progress of fishery equipment and engineering technology at home and abroad (Continued)[J]. *Fishery Modernization*, 2010, 37(3): 1-5,19 (in Chinese).
- [25] 吴文燕. 基于适应性管理的个别可转让配额制度研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- Wu W Y. The Study on Individual transferable quota system based on adaptive management[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013 (in Chinese).
- [26] 陈亚. 个别可转让配额制度在我国海洋渔业捕捞管理中的应用研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2021.
- Chen Y. Application of individual transferable quota system in marine fishery catching management in China[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2021 (in Chinese).
- [27] 黄洪亮, 冯超, 李灵智, 等. 当代海洋捕捞的发展现状和展望[J]. *中国水产科学*, 2022, 29(6): 938-949.
- Huang H L, Feng C, Li L Z, *et al.* The development status and prospect of contemporary marine fisheries[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, 29(6): 938-949 (in Chinese).
- [28] 汤振明, 张勋, 黄洪亮, 等. 我国海洋捕捞高能耗原因分析与对策建议[J]. *中国水产*, 2010(6): 24-25.
- Tang Z M, Zhang X, Huang H L, *et al.* Analysis of the causes of high energy consumption in marine fishing in China and suggestions for countermeasures[J]. *China Fisheries*, 2010(6): 24-25 (in Chinese).
- [29] Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2018[R]. Rome: FAO, 2018: 2-120.
- [30] Watson J W, Seidel W R. Evaluation of techniques to decrease sea turtle mortalities in the southeastern United States shrimp fishery[R]. ICES CM, 1980: 1-8.
- [31] Seidel W R, McVea Jr C. Development of a sea turtle excluder shrimp trawl for the southeast US penaeid shrimp fishery[M]//Biology and conservation of sea turtles. Washington, DC, USA: Smithsonian Institution Press, 1982: 497-502.
- [32] Balazs G H. Assessment of Hawaiian green turtles utilising coastal foraging pastures at Pala'au, Molokai[C]// Proceedings of a workshop on assessing abundance and trends for in-water sea turtle populations. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-445, 2000: 42-44.
- [33] Watling L, Norse E A. Disturbance of the seabed by mobile fishing gear: A comparison to forest clearcutting[J]. *Conservation Biology*, 1998, 12(6): 1180-1197.
- [34] Krost P, Bernhard M, Werner F, *et al.* Otter-trawl tracks

- in Kiel Bay (Western Baltic) mapped by side-scan sonar[J]. *Meeresforsch*, 1990, 32: 344-353.
- [35] Riemann B, Hoffmann E. Ecological consequences of dredging and bottom trawling in the Limfjord, Denmark[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1991, 69: 171-178.
- [36] Revill A S, Jennings S. The capacity of benthos release panels to reduce the impacts of beam trawls on benthic communities[J]. *Fisheries Research*, 2005, 75(1-3): 73-85.
- [37] Kaiser M J, Bullimore B, Newman P, *et al.* Catches in 'ghost fishing' set nets[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1996, 145: 11-16.
- [38] Matsuoka T, Nakashima T, Nagasawa N. A review of ghost fishing: scientific approaches to evaluation and solutions[J]. *Fisheries Science*, 2005, 71(4): 691-702.
- [39] 中国水产科学研究院科技情报研究所. 国外渔业概况[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 31-33.  
Institute of Information Technology, Chinese Academy of Fishery Sciences. Overview of foreign fisheries[M]. Beijing: Science Press, 1991: 31-33 (in Chinese).
- [40] Van Marlen B. Trawl with dyneema give 15 percent energy saving[J]. *World Fishing*, 1990, 39(10): 50.
- [41] Gudmundur G. Iceland's massive mid-water trawl[J]. *Fishing News International*, 1993, 32(2): 9.
- [42] Van Beelen. New-type netting in big demand[J]. *Fishing News International*, 1995, 34(2): 32-33.
- [43] Gramaxo J. Higher price but a big return[J]. *Fishing News International*, 1995, 34(3): 36.
- [44] Kim S, Kim P, Lim J, *et al.* Use of biodegradable drift-nets to prevent ghost fishing: physical properties and fishing performance for yellow croaker[J]. *Animal Conservation*, 2016, 19(4): 309-319.
- [45] Kim M K, Yun K C, Kang G D, *et al.* Biodegradable resin composition and fishing net produced from same: US, 2017112111[P]. 2017-04-27.
- [46] Kim S, Park S W, Lee K. Fishing performance of environmentally friendly tubular pots made of biodegradable resin (PBS/PBAT) for catching the conger eel *Conger myriaster*[J]. *Fisheries Science*, 2014, 80(5): 887-895.
- [47] Kim S, Park S, Lee K. Fishing performance of an *Octopus minor* net pot made of biodegradable twines[J]. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2014, 14(1): 21-30.
- [48] Grimaldo E, Herrmann B, Su B, *et al.* Comparison of fishing efficiency between biodegradable gillnets and conventional nylon gillnets[J]. *Fisheries Research*, 2019, 213: 67-74.
- [49] 岳冬冬, 王鲁民, 张勋, 等. 我国海洋捕捞装备与技术发展趋势研究[J]. *中国农业科技导报*, 2013, 15(6): 20-26.  
Yue D D, Wang L M, Zhang X, *et al.* The development trends of marine fishing equipment and technology in China[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2013, 15(6): 20-26 (in Chinese).
- [50] 杨飞, 张敏, 石建高, 等. 渔用可降解材料的研究进展与展望[J]. *海洋渔业*, 2019, 41(4): 503-512.  
Yang F, Zhang M, Shi J G, *et al.* Progress on research of degradable materials for fishing[J]. *Marine Fisheries*, 2019, 41(4): 503-512 (in Chinese).
- [51] 东海水产研究所. "远洋捕捞成套渔具装备"入选2020中国农业农村10项重大新装备[J]. *水产科技情报*, 2021, 48(1): 60.  
East China Sea Fisheries Research Institute. The "complete set of fishing gear and equipment for deep-sea fishing" was selected as one of the 10 major new equipment for agriculture and rural areas in China in 2020[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2021, 48(1): 60 (in Chinese).
- [52] Kajikawa Y, Tokai T, Hu F X. Modeling of available size selectivity of the SURF-BRD for shrimp beam trawl[J]. *Fisheries Science*, 2013, 79(6): 879-894.
- [53] Isaksen B, Valdemarsen J W, Larsen R B, *et al.* Reduction of fish by-catch in shrimp trawl using a rigid separator grid in the aft belly[J]. *Fisheries Research*, 1992, 13(3): 335-352.
- [54] Broadhurst M K, Kennelly S J, O'Doherty G. Technical note: specifications for the construction and installation of two by-catch reducing devices (BRDs) used in New South Wales prawn-trawl fisheries[J]. *Marine and Freshwater Research*, 1997, 48(6): 485-489.
- [55] Silva C N S, Broadhurst M K, Dias J H, *et al.* The effects of Nordmøre-grid bar spacings on catches in a Brazilian artisanal shrimp fishery[J]. *Fisheries Research*, 2012, 127-128: 188-193.
- [56] Herrmann B, Sistiaga M, Larsen R B, *et al.* Understanding sorting grid and codend size selectivity of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*)[J]. *Fisheries Research*, 2013, 146: 59-73.
- [57] Isaksen B, Gamst K, Kvalsvik K, *et al.* Comparison of



- selectivity and user properties between Sort-X and single grid for two-panel bottom trawl for cod (*Gadus morhua*)[C]//Proceedings of the ICES FTFB WG Meeting. La Coruna, 1998.
- [58] Tringali L S. Biología y pesca de la merluza del Mar Argentino[R]. Mar del Plata: Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, 2012.
- [59] Smartrawl project by fisheries innovation and sustainability[EB/OL].<https://fisorg.uk/smartrawl/>.
- [60] Deep vision delivers image processing- and computer vision solutions for efficient and sustainable fishing[EB/OL]. <http://www.deepvision.no>.
- [61] Sullivan B J, Kibel B, Kibel P, *et al.* At - sea trialling of the Hookpod: a 'one-stop' mitigation solution for seabird bycatch in pelagic longline fisheries[J]. *Animal Conservation*, 2018, 21(2): 159-167.
- [62] Poisson F, Budan P, Coudray S, *et al.* New technologies to improve bycatch mitigation in industrial tuna fisheries[J]. *Fish and Fisheries*, 2022, 23(3): 545-563.
- [63] Lopez J, Ferarios J M, Santiago J, *et al.* Evaluating potential biodegradable twines for use in the tropical tuna FAD fishery[J]. *Fisheries Research*, 2019, 219: 105321.
- [64] Moreno G, Orue B, Restrepo V. Pilot project to test biodegradable ropes at FADs in real fishing conditions in the western Indian Ocean[J]. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 2018, 74(5): 2199-2208.
- [65] Zudaire I, Moreno G, Murua J, *et al.* Biodegradable drifting fish aggregating devices: current status and future prospects[J]. *Marine Policy*, 2023, 153: 105659.
- [66] 宋学锋, 陈雪忠, 黄洪亮, 等. 东海区底拖网对小黄鱼的选择性研究[J]. 上海海洋大学学报, 2015, 24(3): 449-456.
- Song X F, Chen X Z, Huang H L, *et al.* Selectivity of *Parimichthys polyactis* of bottom trawl in the East China Sea[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2015, 24(3): 449-456 (in Chinese).
- [67] 黄洪亮, 唐峰华, 陈雪忠, 等. 夏季东海区带鱼的网具选择性试验研究[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(5): 433-442.
- Huang H L, Tang F H, Chen X Z, *et al.* Nets selectivity of capsule size diamond mesh of *Trichiurus haumela* in East China Sea during summer[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2016, 33(5): 433-442 (in Chinese).
- [68] 尤宗博, 赵宪勇, 李显森, 等. 黄海双船变水层拖网网囊的网目选择性研究[J]. 水产科学, 2017, 36(4): 436-442.
- You Z B, Zhao X Y, Li X S, *et al.* Selectivity of cod-end mesh of pair-trawlers in the Yellow Sea[J]. *Fisheries Science*, 2017, 36(4): 436-442 (in Chinese).
- [69] 孙满昌, 张健, 樊伟. 吕四渔场虾桁拖网最小网目尺寸的研究[J]. 海洋渔业, 2002, 24(3): 120-124.
- Sun M C, Zhang J, Fan W. A study on minimum mesh size of shrimp beam trawling on Lüsü fishing grounds[J]. *Marine Fisheries*, 2002, 24(3): 120-124 (in Chinese).
- [70] 张旭丰, 杨咨, 谭永光, 等. 方目网囊对蓝圆鲹和多齿蛇鲻的选择性比较[J]. 广东海洋大学学报, 2002, 22(3): 26-32.
- Zhang X F, Yang L, Tan Y G, *et al.* Comparison of selectivity of square mesh codend on *Decapterus maruadsi* and *Saurida tumbil*[J]. *Journal of Zhanjiang Ocean University*, 2002, 22(3): 26-32 (in Chinese).
- [71] 杨炳忠, 杨咨, 谭永光, 等. 南海区虾拖网方目与菱目混合网囊渔获性能初步研究[J]. 海洋科学, 2017, 41(1): 57-64.
- Yang B Z, Yang L, Tan Y G, *et al.* Preliminary study of catching performance of a combined diamond- and square-mesh cod-end of a shrimp beam trawl in the northern South China Sea[J]. *Marine Sciences*, 2017, 41(1): 57-64 (in Chinese).
- [72] 宋学锋, 陈雪忠, 李灵智, 等. 东海区方形目与菱形目拖网网囊对小黄鱼的选择性研究[J]. 海洋渔业, 2017, 39(1): 100-109.
- Song X F, Chen X Z, Li L Z, *et al.* Selectivity of diamond and square mesh codends in the bottom-trawl fishery for *Larimichthys polyactis* in the East China Sea[J]. *Marine Fisheries*, 2017, 39(1): 100-109 (in Chinese).
- [73] 张健, 王忠秋, 张新峰, 等. Y型幼鱼释放装置在张网渔具中的应用初探[J]. 海洋渔业, 2016, 38(1): 66-73.
- Zhang J, Wang Z Q, Zhang X F, *et al.* Preliminary study on Y-shaped exclusion device for juvenile fish in Chinese stow net[J]. *Marine Fisheries*, 2016, 38(1): 66-73 (in Chinese).
- [74] 孙满昌, 姚来富. 桁拖网作业中鱼虾分隔的初步试验研究[J]. 海洋渔业, 1998(3): 111-115.
- Sun M C, Yao L F. Preliminary experimental studies on the separation of shrimp from fish in beam trawling[J]. *Marine Fisheries*, 1998(3): 111-115 (in Chinese).
- [75] 罗炎标, 张健, 孙满昌. 大鹏湾捕虾拖网渔获分隔试验

- 的效果分析[J]. 南方水产, 2007, 3(1): 14-19.
- Luo Y B, Zhang J, Sun M C. Preliminary study on separator shrimp trawl in Dapeng Gulf[J]. South China Fisheries Science, 2007, 3(1): 14-19 (in Chinese).
- [76] 张健, 孙满昌, 彭永章, 等. 桁拖网渔具分隔网片对虾类的分隔效率[J]. 中国水产科学, 2008, 15(5): 845-852. Zhang J, Sun M C, Peng Y Z, *et al.* Separating efficiency of separator panels rigged in beam trawls for shrimps[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(5): 845-852 (in Chinese).
- [77] 张健, 白伦. 桁拖网渔具分隔网片对蟹类的分隔效果[J]. 海洋渔业, 2013, 35(2): 217-223. Zhang J, Bai L. Efficiency of separator panels in beam trawls for crabs[J]. Marine Fisheries, 2013, 35(2): 217-223 (in Chinese).
- [78] 张健, 石建高, 张鹏, 等. 桁拖网渔具刚性栅栏对虾类的分隔性能[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(6): 726-733. Zhang J, Shi J G, Zhang P, *et al.* Separating performance for shrimps of sorting grid rigged in beam trawls[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(6): 726-733 (in Chinese).
- [79] 张健, 张鹏, 孙满昌, 等. 桁拖网渔具刚性栅栏对鱼类的分隔效率研究[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(4): 511-517. Zhang J, Zhang P, Sun M C, *et al.* Fish separating efficiency of sorting grid rigged in beam trawls[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2009, 40(4): 511-517 (in Chinese).
- [80] Wang Z Q, Tang H, Xu L X, *et al.* A review on fishing gear in China: selectivity and application[J]. Aquaculture and Fisheries, 2022, 7(4): 345-358.
- [81] 徐皓, 陈家勇, 方辉, 等. 中国海洋渔业转型与深蓝渔业战略性新兴产业[J]. 渔业现代化, 2020, 47(3): 1-9. Xu H, Chen J Y, Fang H, *et al.* Chinese marine fishery transformation and strategic emerging industry of deep ocean fishery[J]. Fishery Modernization, 2020, 47(3): 1-9 (in Chinese).
- [82] 宗艳梅, 李国栋, 谌志新, 等. 圆柱阵多波束渔用声呐波束形成性能分析[J]. 渔业现代化, 2020, 47(6): 66-73. Zong Y M, Li G D, Chen Z X, *et al.* Analysis of beam-forming performance of cylindrical array multi-beam fishery sonar[J]. Fishery Modernization, 2020, 47(6): 66-73 (in Chinese).
- [83] 宗艳梅, 魏珂, 李国栋, 等. 海洋渔业声学装备关键技术研究进展[J]. 渔业现代化, 2021, 48(3): 28-35. Zong Y M, Wei K, Li G D, *et al.* Research progress on key technologies of marine fishery acoustic equipment[J]. Fishery Modernization, 2021, 48(3): 28-35 (in Chinese).
- [84] Llorens S, Pérez-Arjona I, Soliveres E, *et al.* Detection and target strength measurements of uneaten feed pellets with a single beam echosounder[J]. Aquacultural Engineering, 2017, 78: 216-220.
- [85] 张慧杰, 危起伟, 杨德国. 回声探测仪的发展趋势及渔业应用[J]. 水利渔业, 2008, 28(1): 9-13. Zhang H J, Wei Q W, Yang D G. Development trend of echosounders and their application in fisheries[J]. Journal of Hydroecology, 2008, 28(1): 9-13 (in Chinese).
- [86] 张同伟, 秦升杰, 唐嘉陵, 等. 典型分裂波束声学探测系统及其应用[J]. 舰船科学技术, 2019, 41(2): 131-134. Zhang T W, Qin S J, Tang J L, *et al.* Typical split-beam echosounder and its application[J]. Ship Science and Technology, 2019, 41(2): 131-134 (in Chinese).
- [87] 李斌, 陈国宝, 郭禹, 等. 南海中部海域渔业资源时空分布和资源量的水声学评估[J]. 南方水产科学, 2016, 12(4): 28-37. Li B, Chen G B, Guo Y, *et al.* Hydroacoustic assessment of spatial-temporal distribution and biomass of fishery resources in the central South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(4): 28-37 (in Chinese).
- [88] Simmonds J, MacLennan D. Fisheries acoustics: theory and practice[M]. 2nd ed. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2005: 227-228.
- [89] 胡健辉, 王艳, 赵欢, 等. 分裂波束鱼探仪换能器的旁瓣级控制[J]. 声学及电子工程, 2016(4): 35-37. Hu J H, Wang Y, Zhao H, *et al.* Sidelobe level control of split beam fish detector transducer[J]. Acoustics and Electronics Engineering, 2016(4): 35-37 (in Chinese).
- [90] 吴陈波, 谌志新, 李国栋, 等. 宽带分裂波束探鱼仪探测性能预报建模及仿真分析[J]. 渔业现代化, 2020, 47(3): 72-79. Wu C B, Chen Z X, Li G D, *et al.* Modeling and simulation analysis of detection performance prediction of wideband split-beam fish finder[J]. Fishery Modernization, 2020, 47(3): 72-79 (in Chinese).
- [91] 钱韬. 线阵分裂波束处理技术在水声探测中的应用[J]. 声学技术, 2015, 34(6): 551-555. Qian T. Application of split-beam processing of line array in underwater acoustic detection[J]. Technical

- Acoustics, 2015, 34(6): 551-555 (in Chinese).
- [92] Williamson B J, Fraser S, Blondel P, *et al.* Multisensor acoustic tracking of fish and seabird behavior around tidal turbine structures in Scotland[J]. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2017, 42(4): 948-965.
- [93] Melvin G D. Observations of *in situ* Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) with 500-kHz multibeam sonar[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2016, 73(8): 1975-1986.
- [94] 张波. 鱼群声散射模型及其仿真研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009.
- Zhang B. Research of fish school acoustic scattering model and its simulation[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2009 (in Chinese).
- [95] 杜伟东, 李海森, 陈宝伟, 等. 一种基于声散射特性的有鳔鱼特征获取方法[J]. *应用声学*, 2014, 33(6): 505-511.
- Du W D, Li H S, Chen B W, *et al.* Features acquisition of fish with swim bladder based on acoustic scattering characteristics[J]. *Journal of Applied Acoustics*, 2014, 33(6): 505-511 (in Chinese).
- [96] 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所. 我国首台全方位数字多波束渔用声呐顺利完成海试并交付使用[J]. *水产科技情报*, 2022, 49(6): 381-382.
- Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences. China's first omnidirectional digital multi-beam fishing sonar has successfully completed sea trials and been delivered for use[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2022, 49(6): 381-382 (in Chinese).
- [97] 贺波. 世界渔业捕捞装备技术现状及发展趋势[J]. *中国水产*, 2012(5): 43-45.
- He B. Current status and development trends of fishing equipment technology in world fisheries[J]. *China Fisheries*, 2012(5): 43-45 (in Chinese).
- [98] 张静. 国内外远洋渔业捕捞装备与工程技术研究进展综述[J]. *科技创新导报*, 2018, 15(10): 22,24.
- Zhang J. Summary of research progress on fishing equipment and engineering technology for deep-sea fisheries at home and abroad[J]. *Science and Technology Innovation Herald*, 2018, 15(10): 22,24 (in Chinese).

## Review of marine fishing equipment and technology

WANG Lumin<sup>1</sup>, WANG Zhongqiu<sup>1,2\*</sup>

(1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;

2. Qingdao Marine Science and Technology Center, Qingdao 266237, China)

**Abstract:** The modern marine fishing industry utilizes advanced technologies, including ships, machinery, information systems, and new materials to fish marine catch and to process and sell fishing products directly. The development and innovation of marine fishing equipment and technology play a crucial role in ensuring food security, protecting the coastal ecology and resources, achieving fishermen's income growth and new fishing village construction, promoting the adjustment and transformation of the fishery industry structure, and maintaining our country's marine rights and interests. This article focuses on the research progress in areas such as acoustic detection for marine fishing, innovation in marine fishing gear, and efficient intelligent fishing methods. It proposes development directions for marine fishing equipment and technology. These efforts aim to provide a reference for our country's marine fishing industry to achieve energy-efficient, eco-friendly, and sustainable resource use.

**Key words:** marine fisheries; fishing technology; fishing ground detection; fishing gear and method; auxiliary fishing

**Corresponding author:** WANG Zhongqiu. E-mail: wangzq@ecsf.ac.cn

**Funding projects:** Marine S & T Fund of Shandong Province for Qingdao Marine Science and Technology Center (2022QNLM030002-2); Shanghai Sailing Program (23YF1459700)