

DOI:10.3969/j.issn.1007-9580.2022.05.002

中国深远海养殖装备发展探议及思考

鲍旭腾, 谌志新, 崔铭超, 黄温赟

(中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092)

摘要:深远海养殖是拓展水产养殖发展新空间、减轻近海生态环境压力的重要途径,对实现水产养殖提质增效、实现渔业现代化、保障世界食物安全和水产养殖业可持续发展具有重要意义,而深远海养殖装备与技术是支撑和实现深远海养殖发展壮大的关键。文章简要介绍了国内外大型桁架式养殖网箱和深远海养殖工船的研究应用现状,指出中国深远海养殖与国外渔业发达国家相比在机械装备自动化、智能化方面仍有较大差距。主要探讨了大型桁架式养殖网箱和深远海养殖工船当前面临的主要问题和未来的研究发展方向,并对未来深远海养殖的发展做了相应的探议及思考,特别是对深远海养殖装备的发展定位、功能拓展、科技支撑等进行了探索和建议。本研究以期为中国深远海养殖装备与技术研发及未来海洋建设提供参考。

关键词:深远海养殖;深蓝渔业;网箱养殖;养殖工船

中图分类号:S969

文献标志码:A

文章编号:1007-9580(2022)05-0008-007

深远海养殖是拓展水产养殖发展新空间、减轻近海生态环境压力的重要途径,对实现水产养殖提质增效、实现渔业现代化、保障世界食物安全和水产养殖业可持续发展具有重要意义,为未来开发深海资源提供有力支撑、解决边远海岛能源物资补给、实现国家主权领海安全保障,是前景广阔的战略新兴产业,是绿色渔业发展的重要方向^[1-3]。

《“十四五”全国渔业发展规划》^[4]指出“合理布局、稳妥发展深远海养殖,将深远海养殖打造成技术先进、装备优良、生态和谐的新型养殖业态。”“鼓励开展岸基、近海、深远海设施化养殖,发展深远海大型智能化养殖渔场,建设一批重力式深水抗风浪、桁架式网箱和养殖工船等先进设施装备。”2022年,中国科协科技领域重大问题难题发布^[5],其中“10个对工程技术创新具关键作用的工程技术难题”位列第一的是“如何突破我国深远海养殖设施的关键技术?”。

2019年1月,农业农村部等10部委联合印发的《关于加快推进水产养殖业绿色发展的若干意见》^[6]指出“支持发展深远海绿色养殖,鼓励深远海大型智能化养殖渔场建设,鼓励深远海大型

养殖装备研发和推广应用”,意味着中国水产养殖业转型升级进入一个新的阶段,发展深远海养殖的重要性日益凸显。

重力式深水网箱、桁架类网箱和养殖工船是三类主流的深远海养殖设施装备。重力式深水网箱养殖是当前中国海上鱼类养殖的主要生产方式。1998年海南省率先引进挪威的高密度聚乙烯(HDPE)深水网箱^[7-8]。“十二五”“十三五”期间国家大力发展的深水抗风浪网箱主要为HDPE重力式网箱,受这类网箱本身的技术缺陷,如结构和材料难以抵御超强台风的正面侵袭等,使得中国海水养殖只能局限在内湾或半开放深20 m以内浅海域发展,而更深、更远、更开阔的海域没有得到充分利用。

中央和地方用于支持渔业转型升级的科研投入和产业扶持资金规模的逐渐扩大,促进了深远海养殖重大示范项目的相继实施。目前,全国水产养殖已形成了拓展深远海的新格局,绿色发展的产业方向已经确立,大型桁架类养殖网箱和养殖工船将是未来走向深远海的两种主要的新型养殖设施装备形式。

本研究简要介绍了大型桁架类养殖网箱和深

收稿日期:2022-05-30

基金项目:中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所基本科研业务费项目“深远海渔业装备的研究进展及趋势研究(2017YJS0011)”

作者简介:鲍旭腾(1983—),男,硕士,助研,研究方向:渔业装备技术与信息战略。E-mail:baoxuteng@fmiri.ac.cn

通信作者:谌志新(1969—)男,研究员,研究方向:海洋设施渔业装备。E-mail:chenzhixin@fmiri.ac.cn

远海养殖工船的研究应用现状,分析了目前深远海养殖面临的关键问题和未来研发的方向,并对其进行了探议和思考。

1 大型桁架类养殖网箱发展概况

中国目前已经具备了深远海养殖平台的制造能力,设计能力也取得了长足的进步,不仅承接建造了全球第1座半潜式桁架式深远海养殖网箱(Ocean Farm1),而且又接连获得了十几座深远海养殖网箱建造的海外订单。2018年7月,中国自主设计建造的第一个深远海桁架类网箱“深蓝1号”交付使用,养殖水体达到5万 m^3 ,开启了中国大型深远海养殖设施装备先河,迅速成为行业热点,并在水产界兴起了建设大型深远海设施养殖的浪潮。在社会游资的参与以及海工和船舶企业的助推下,为满足不同海域不同养殖对象的需求,先后研发设计了多型桁架类网箱,主要有全潜式桁架类网箱(全球第一座全潜式桁架类深远海养殖网箱“深蓝1号”)、半潜式桁架类网箱(“德海1号”“海峡1号”)、浮式桁架类网箱(“振渔1号”“嵎海1号”)、座底式桁架类网箱(“长鲸1号”“经海系列”)等^[7-12]。

此外,“耕海1号”^[13]和“澎湖号”^[14]是渔旅融合桁架类养殖设施的典型代表。2020年7月,由山东海洋集团投资建造的“耕海1号”是全国首制渔业休闲型座底式桁架结构养殖平台,该平台由3个养殖网箱组合而成,构成直径80m的“海上花”概念,每朵“花瓣”养殖水体约1万 m^3 。平台共有4层,有不同的功能区域,实现了休闲渔业、科学研究科技研发、科普教育等多种功能。“澎湖号”网箱为半潜式桁架钢结构养殖平台,集成了养殖、绿色能源、管理服务和智能生产4个功能区,配置了20人居住舱室以及养殖自动投饵设备、伤残死鱼收集设备、养殖平台数据采集与监控系统等设备。

截至目前,中国已建成并投入使用的大型桁架式深远海养殖网箱已超过20个,立项并正在开工建设的也有超过20个。资料显示,中国适合新型大型桁架类深远海网箱养殖的海域面积约为16万 km^2 。其中,南海海域水深为45~100m且适合开展深远海渔业养殖的海域面积约为

6万 km^2 ^[15-16]。

20世纪90年代起,大型深远海养殖网箱和移动式养殖平台成为欧美、日本等渔业发达国家的研发重点^[17-19]。目前,世界各国已经拥有了十几种自动化程度很高的大型深远海网箱类型。挪威是世界海洋产业最完备的国家之一,萨尔玛公司的Ocean Farm1半潜式大型深远海网箱,是挪威最大三文鱼深远海养殖网箱,该网箱容积25万 m^3 ,养殖产量可达6000多t^[20-21]。国外深远海养殖网箱装备自动化、智能化程度较高,能实现鱼苗投送、自动投饲、鱼情监测、死鱼回收等功能,其配套装备、技术、管控等与养殖主体设备的匹配度高,已基本实现了养殖过程的机械化和自动化。

2 深远海养殖工船发展概况

养殖工船是新型深远海养殖装备,具有安全、高效、环保的特点,是中国海水鱼类养殖走向深远海的重要发展方向,也是为了适合中国海域台风多发的海况特点,规避台风灾害影响,同时实现南鱼北养和北鱼南养以及解决全季节优质水产养殖的产业需求。养殖工船是中国最早提出并付诸实施的深远海养殖模式,“十三五”期间,深远海养殖工船启动建设,代表性的成果主要有:封闭舱养型养殖工船首制试验船;全球首艘封闭舱养型大型养殖工船设计建造;通海型养殖工船设计建造。

2017年7月由甲板作业船改造设计的3000吨级“鲁岚渔61699”号封闭舱养型养殖工船,首制试验船交付使用,拥有14个养鱼水舱,配备饲料舱、加工间、鱼苗孵化室、鱼苗实验室等配套齐全的舱室和养殖与加工设备,以及配置了深层取水装置,可抽取冷水团的冷水资源满足冷水性养殖鱼苗培育、转运和养殖渔场看护管理要求。2021年通过加装三文鱼活鱼起捕和初加工生产线,并更名为“鲁青新渔养60001”,该船具备了综合服务功能。

2022年5月20日,全球首艘10万吨级智慧渔业大型养殖工船国信1号在中国船舶集团青岛北海造船有限公司交付运营,该船设15个养殖舱,养殖水体近9万 m^3 ,总投资约4.5亿元^[22]。该船以“船载舱养”模式开展大黄鱼、石斑鱼、大西洋鲑等名优鱼种养殖,预计年产高品质鱼3700t。据称,未来5年,在“国信1号”养殖工船

运营基础上,青岛国信集团将陆续投资建设 50 艘养殖工船,形成总吨位突破 1 000 万吨、年产各类海水鱼 40 万 t、年产值突破 500 亿元的深远海养殖产业链条^[23]。

为了验证旧船改造为深远海养殖工船的可行性,2020 年 10 月利用散货旧船改造的 8 000 吨级“明德轮”养殖工船投入使用,并开展了北方鱼苗入舱,游弋到海南南海的养殖试验,该船养殖水体 6 650 m³,可养殖高体鲷 100 t,试验达到了预期效果,验证了通海型工船可以鱼类养殖,同时也说明舱养水体要具有一定规模也能体现经济效益。该船除配置监测系统之外,没有配备养殖作业装备,影响生产效率。

国外在深远海养殖工船方面的探索起步于 20 世纪 80 年代末。国外深远海养殖平台技术体系不断成熟,支撑了海水养殖向更深、更远、更开放性海域发展。在海水养殖装备技术研发方面,欧洲是技术引领者。欧洲海水养殖产业以“一条鱼”工程模式为主,除苗种繁育、养殖工艺、病害防控外,在养殖作业配套机械化等方面建立了全产业链装备配套工程。欧美渔业发达国家提出了养殖工船的概念,并进行了相应的方案设计。由于其近海捕捞资源较为丰富、近海养殖发展空间较大、发展深远海养殖的动力不足等原因,深远海养殖工船的发展较为缓慢。目前,土耳其^[24]、西班牙^[25]、美国、法国、日本等都有涉及养殖工船,但大多是基于概念设计、可行性研究和试验阶段。挪威由于其特殊的地理环境和深厚的大西洋鲑养殖基础,在深远海养殖工船领域处于领先地位,挪威深远海养殖全产业链科技支撑确保其成为全球渔业装备科技领导者。2021 年获得开发许可的挪威 Eidsfjord Sjøfarm 公司研发的 Eidsfjord Giant 具有移动推进装置的封闭式养殖工船^[26],长 270 m、宽 41 m,具有 6 个密闭式养殖舱,养殖总水体 69 000 m³,采用水泵抽取下层海水,并可以按照需要调整抽水深度,预计年产量在 5 175 t。

3 深远海养殖装备面临的问题

3.1 深远海养殖产业组织化程度低、投资风险大

中国海域辽阔,海况复杂,特别是台风多以及大陆架海洋结构呈现深且远的特点,深远海设施养殖需要大型安全的系统平台、高效作业的配套

装备、物流信息保障系统以及装备与养殖工艺和养殖技术的协同支撑,深远海养殖对设施化、装备化程度有着较高的要求,系统相比其他渔业产业更加复杂,在空间上又离岸更远,产业链的完整和足够的规模才能有效控制生产成本和风险。前几年在海工领域行业不景气的形势下,海工装备制造和游资高调介入深远海养殖产业,对推动深远海养殖装备发展发挥了重要作用,但海工领域高度组织化的生产模式,并没有及时带入水产行业。目前中国海水养殖仍处于传统农业模式,组织化程度不高,产业布局、产品调度和市场流通均缺乏组织筹划,尚未实现规模效应,行业协调融合不够,抗风险能力差,投入与产出容易受外部因素左右,产品缺乏竞争力,影响生产效益,制约了深远海养殖产业的规模发展。

3.2 深远海养殖装备自动化、智能化、标准化技术集成度低

深远海网箱养殖由于其远离陆地,各项物质的运输和人员往来存在诸多不便,需要在有限的人员情况下实现装备的有效自运行,需要不断提升深远海养殖装备的自动化水平。具体包括自动化监控、自动化投喂、自动化分选、自动化网衣清污等技术将越来越引起关注,这些亦将成为未来研发的重点。深远海网箱处于离岸较远的高海况环境,其面临的养殖环境不同于近海,其受到的海流作用和外部作用都要大,因此要保证网箱结构的牢固性、安全性,如目前需要重点开展大型桁架式网箱的结构安全性研究。专业化的养殖装备必不可少,精准投喂、分级起捕、鱼类监控、水质监测等技术装备的研究开发是当务之急。目前,国内虽然有一些配套管控设备,但技术含量不高,关键技术尚待突破。如旋转晒网机构可靠性问题和成鱼起捕等机械化作业系统配套问题等。

不同于陆基养殖,船舱养殖面临新的环境情况和技术要求,如养殖舱水体晃动对养殖体的刺激、养殖舱高深鱼池形状、养殖舱防腐防污涂料毒性、养殖水源获取、养殖尾水排放及高效水处理技术等问题。由于深远海养殖工船空间有限,需要综合考虑各个区域的合理规划分布,比如饲料堆放要考虑防水防污防霉,要实现智能化精准投喂,减少浪费;由于船上作业人员少,需要实现分级自动化的机械起捕;另外在养殖设施结构清洁以及

废物收集处理和养殖工船养殖智能管控等方面都需要开展系统研究。渔业装备的研发能力是建设高水平海洋渔业的重要保障和支撑。由于中国深远海养殖起步晚,相关研究基础仍然薄弱,支撑推进深远海养殖产业发展的设施装备技术还不够成熟,相关设计建造和产业配套的技术标准研究滞后,产品标准化程度还比较低。

3.2 深远海养殖网箱网衣材料的选用和锚泊系统选型问题

网衣破损是造成深远海养殖鱼类逃逸及其他养殖经济损失的主要原因之一。柔性的网衣材料是包围网箱结构的主要部件,对养殖安全、防止养殖体逃逸和外来捕食动物如鲨鱼等攻击都具有重要意义^[27-28]。网衣破损造成鱼类逃逸问题是目前深远海养殖网箱普遍存在的问题。目前对网衣破损的机理研究还不清晰,对网衣附着物的清理和防治还比较初级,需要深入研发新材料网衣和高效防污损技术。锚泊系统对桁架类深远海网箱的安全性、稳定性具有重要意义,需要合理选型、有效配置。由于缺乏对嵊泗海域流大浪急恶劣海况的了解,某桁架式养殖网箱在锚泊系统设计选型时没有得到有效配置,造成网箱网衣破损、锚链断裂网箱沉没的重大损失。

3.3 深远海养殖工船的建造及优化问题

深远海养殖工船不同于一般的渔船、也不同于一般的商船,其舱内设置了养殖水舱,需要综合考虑其特殊的舱体结构、水动力特性、新材料使用及防腐防污涂装等各种要素,同时也要考虑到航行及停泊时养殖舱内晃动、深远优质海水的提水和排放、养殖水处理技术等问题。中国深远海养殖工船经历了最初的改装方案到最新的新建方案的转变。如2014年中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所开展了10万吨级的阿芙拉型油船改装设计研发,2016年又开展了30万吨级矿砂船改装养殖工船方案设计及可行性研究报告编制,直至2020年全球首艘10万吨级智慧渔业大型养殖工船,即“国信1号”正式开工建设。新建养殖工船相比改造工船,主要优势在于:养殖舱形状更加规则,能更好地采用高技术水平的制荡措施,系统可全部集成到主甲板以下以更好利用空间降低建造成本,更小的吃水大幅度降低通航要求等。无论改造还是新建,养殖工船的设计建造

要满足功能性、确保安全性、兼顾经济性。

4 深远海养殖装备探讨及思考

4.1 深远海养殖装备的发展定位

深远海养殖装备应不断提高装备技术水平,实现从低端、初级到高端、高级的转变。特别是在装备机械化的基础上,实现自动化、信息化和智能化。需要加快渔业装备科技的自主研发创新,建立和完善渔业装备创新研究理论和体系,突破深远海养殖装备的关键共性技术研发,围绕深远海养殖工船船体平台、智能化设施装备、船载舱养关键技术和模式、深远海养殖网箱结构及网衣防止破清污等,研制出经济实用、安全可靠、生产急需的重大深远海渔业装备。

4.2 深远海养殖装备未来发展要素

(1) 高度集成性。高度集成性是以高度集成的技术和资源,建立绿色生产体系。关键的技术集成主要包括海上工业化养殖装备技术、航行及系泊等工况下养殖平台稳性及水动力控制技术、自动化智能化养殖集控技术、海上养殖工船船体结构设计技术等。具体包括深水水源抽取技术、养殖尾水处理技术、智能化精准化投饲技术、机械化聚捕采收技术、自动化水下清污技术等。资源的高度集成性主要包括优质的深水水源和适宜的环境温度等,高质量的水质和最有利的环境温度共同构建了养殖体的最佳生长环境,在可控的人工养殖环境下,实现绿色生产。当然,养殖工船作为一个海上漂浮的空间平台,可供利用的资源也包括海上的太阳能^[29]、风能^[29]、波浪能^[17]等,这些都可以考虑体现在未来养殖工船的设计中。

(2) 物质循环性。物质循环性是指使物质流和能量流实现良性循环,从而实现资源节约利用,废弃物达标排放。深远海养殖工船漂泊在海上,其养殖系统的投入品主要包括养殖用水、饲料、药物等。养殖用水来自深海适宜水位的优质海水,其使用后需要经过尾水处理后循环利用或者直接排放到大海中净化。饲料是养殖体的主要食物来源,其被吸收的程度是影响养殖体生长和水质状况的主要因素,饲料要最大限度地被吸收利用,在根据饲料本身物质特性的基础上,需要实现精准投喂;同时,由于海上的潮湿环境,需要保证饲料的防潮防霉。深远海养殖网箱处于开放的养殖环

境下,要考虑到物料等的扩散性,方便养殖鱼类排放物的疏散,减小对环境的集中影响,以保证物质的循环利用,网箱箱体底部与海底要保持一定的距离,至少要大于 4 m 的高度。

(3)生态高效性。生态高效性是指高效资源利用、高效单位产出和高效劳动生产等使深远海养殖工船养殖业朝着更高效率的方向发展。为更好地实现舱养养殖效益,需要利用流体力学分析建立养殖鱼舱的数学模型,实现养殖工船功能、结构、水动力系统的最优化设计。在取水换水的资源利用上,需要探索最适合的海上复杂工况下的取水模式和自动集排污方法。进行多种养殖体的适渔性舱养试验,寻找最合适的养殖密度、养殖周期,提高养殖产量,应研发具备繁育养成一体式、精准投喂、自动收捕和环境调控等多功能的舱养结构。深远海养殖网箱需要探索更高效安全的网衣和桁架结构材料,同时也要考虑到材料的低污染、无污染性。深远海养殖的劳动力成本较高,需要实现装备的机械化、自动化、智能化、标准化作业,相信未来人工智能(AI)技术^[18-19,30-31]在深远海养殖领域会大有作为。

(4)功能多样性。功能多样性是指深远海养殖工船能实现横向和纵向的多方向多维度的发展,实现一二三产业融合发展。深远海养殖大型养殖工船平台及模式构建,实现了新型船舶类型的建造、实现了新型船舱养殖模式的探索、实现了新型海上浮动载体空间的建构^[32]。在深远海养殖工船上实现了养殖、捕捞、加工一体化的作业,实现了大陆、海岛的联通。在深远海网箱养殖上同时实现了渔旅融合的相关实践。未来深远海养殖工船需要在船上水产品加工技术装备技术、船联网技术^[33-34]、大型养殖工船系统总体工程技术^[35-36]、养殖工船船队管理技术等领域进行广泛研究。未来深远海养殖网箱需要在保证网箱材料结构安全的前提下,实现更精准的捕捞和更优质的水产品加工,以及相关的渔旅融合等。此外,深远海养殖体现出更多的可扩展性,可以在深远海海洋科学探索、海洋新能源开发、海上休闲旅游等方面展开。

4.3 深远海养殖装备的功能拓展

(1)渔业生产功能。深远海养殖必须符合渔业高质量发展的要求,以“绿色、优质、高效、健

康、安全”为标准,特别注重高效生产、规模经济效益、环境友好和质量安全,生产出高品质、无污染的海洋高附加值的水产品。深远海养殖平台及装备技术需要考虑到生产的高效性、生态的环保性和生活的宜居性。深远海养殖平台上的养殖、捕捞、加工装备需要在机械化的基础上实现精准化、信息化、智能化,精准投喂、分级捕捞、精深加工、新品创制、质量控制等都是当前乃至未来研发的重点。养殖尾水处理、养殖污染物清理等是保障深远海养殖生态环保性的必然选择,需要在节能减排装备研发上进一步探索。而生产者生存环境的安全舒适性也应成为现代化渔业考虑的因素之一,也是需要在深远海养殖平台不断完善的功能。深远海养殖是新型的工业化生产方式,要以养殖生产为基础,带动高值化精深加工、全过程冷链物流等相关产业融合发展,延长产业链、提升价值链,加快发展形成陆海统筹的全产业链生产新模式。

(2)辅助探索功能。深远海养殖工船或网箱平台在服务渔业生产的同时,还应具备服务科研探索功能、物资补给功能等。是进行海洋探测、深海探索、未来水下空间站建设等的浮动基地,也是国家宣誓海上主权、海洋物流网络、远洋休闲旅游等的物资航母。未来的辅助功能发展需要结合现实的紧迫性和科技发展达到的水平。

4.4 深远海养殖装备的科技支撑

深远海养殖的基础是装备丰富完备的机械化,进阶是全方位采集大量数据的信息化,完善是通过大数据实现云端控制的智能化。虽然中国深远海养殖工程装备技术在局部取得突破,但仍无法满足目前中国深远海养殖产业发展的需求。还需加大科研投入,重点突破制约深远海养殖发展的关键技术和工程装备瓶颈,解决工程装备与养殖、加工等技术融合度低的问题,强化深远海养殖技术装备支撑能力,完善系统配套,提高以工业化理念构建的深远海养殖模式的生产效率和设施安全。制定完善深远海养殖相关技术规范和标准,引导深远海养殖设施装备技术水平的提升。深远海养殖不仅需要现代化的养殖技术,更需要现代化的装备技术,需要进行机制创新、制度保障和政策支持,在深远海养殖领域形成高新科技的聚集场。结合现代海上渔业养殖技术,充分发掘海上

船联网、新能源、海水淡化等相关技术,在深远海养殖平台上充分发掘太阳能、风能、海洋能的开发潜力。□

参考文献

- [1] 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.
- [2] 麦康森,徐皓,薛长湖,等. 开拓我国深远海养殖新空间的战略研究[J]. 中国工程科学,2016,18(3):90-95.
- [3] 刘晃,徐琰斐,缪苗. 基于SWOT模型的我国深远海养殖业发展[J]. 海洋开发与管理,2019(4):45-49.
- [4] 农业农村部. 农业农村部印发《“十四五”全国渔业发展规划》[EB/OL]. [2022-01-06]. http://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/202201/t0220106_6386442.htm.
- [5] 中国科学技术协会. 中国科协发布2022重大科学问题、工程技术难题和产业技术问题[EB/OL]. [2022-09-15]. https://www.cast.org.cn/art/2022/6/28/art_195_190496.html.
- [6] 农业农村部. 关于加快推进水产养殖业绿色发展的若干意见[EB/OL]. (2019-02-15) [2022-09-15]. http://www.moa.gov.cn/gk/tzgg_1/tz/201902/t0190215_6171447.htm.
- [7] 郭根喜. 我国深水网箱养殖产业化发展存在的问题与基本对策[J]. 南方水产,2006,44(1):66-70.
- [8] 付晓月,黄大志,徐慧丽,等. 深远海网箱水产养殖发展概述[J]. 水产养殖,2021(10):23-26.
- [9] 徐晓丽,郑一铭. 后疫情时代深远海渔业养殖装备发展动向[J]. 中国船检,2021(3):55-58.
- [10] 何磊磊,张海文. “深海渔场”的应用前景[J]. 船舶,2018(2):1-6.
- [11] 李紫恒. “深蓝1号”首获丰收[N]. 人民日报,2022-06-09(11).
- [12] 搜狐网. 逐梦深蓝! 这些深远海养殖平台助力广东打造“粤海粮仓”[EB/OL]. (2022-08-30) [2022-09-15]. http://news.sohu.com/a/581122717_121124571.
- [13] 中国政府网. 走进海洋牧场“耕海1号”[EB/OL]. (2021-10-18) [2022-09-15]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-10/18/content_5643460.htm#allContent.
- [14] 廖静. 珠海“澎湖号”网箱平台:让养殖走向深远海[J]. 海洋与渔业,2019(11):62-63.
- [15] 韩立民,王金环. “蓝色粮仓”空间拓展策略选择及其保障措施[J]. 中国渔业经济,2013,31(2):53-58.
- [16] 国际船舶网. 深远海渔业养殖装备,冬天里的一把火?[EB/OL]. (2017-09-25) [2022-09-15]. http://www.eworldship.com/html/2017/ship_market_observation_0925/132209.html.
- [17] 李华军,刘福顺,杜君峰,等. 海洋工程发展趋势与技术挑战[J]. 海岸工程,2022,41(4):1-17.
- [18] 许婷婷,王颖. 基于人工智能技术的海洋渔业生态自动化监测[J]. 制造业自动化,2020,42(7):153-156.
- [19] 李道亮,刘畅. 人工智能在水产养殖中研究应用分析与未来展望[J]. 智慧农业(中英文),2020,2(3):1-20.
- [20] 纪毓昭,王志勇. 我国深远海养殖装备发展现状及趋势分析[J]. 船舶工程,2020,42(增刊2):1-4,82.
- [21] JIN J Z, SU B, DOU R, et al. Numerical modelling of hydrodynamic responses of Ocean Farm 1 in waves and current and validation against model test measurements[J]. Marine Structures, 2021, 78(7):103017. 1-103017. 28.
- [22] 上观新闻. 全球首艘! 10万吨级大型养殖工船“国信1号”交付[EB/OL]. (2022-05-23) [2022-09-15]. <https://export.shobserver.com/baijiahao/html/489912.html>.
- [23] 中国日报网. 全球首艘十万吨级智慧渔业大型养殖工船“国信1号”亮相2022全国农业高新技术成果交易活动[EB/OL]. (2022-08-27) [2022-09-15]. <https://sd.chinadaily.com.cn/a/202208/27/WS630964efa3101e3ee7ae5df9.html>.
- [24] BILEN S, KIZAK V, BILEN A M. Floating Fish Farm Unit (3FU), Is it an appropriate method for salmonid production?[J]. Marine Science & Technology Bulletin, 2013(2):8-12.
- [25] FRANCISCO D B, ABEL M. The tuna offshore unit: concept and operation[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2005, 30(1):20-27.
- [26] 欧深海洋开发咨询. 5175吨! 挪威 Eidsfjord Sjfarm 三文鱼养殖工船获批开发许可[EB/OL]. (2021-11-26) [2022-09-15]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1717453353143535561&wfr=spider&for=pc>.
- [27] 石建高,余雯雯,赵奎,等. 海水网箱网衣防污技术的研究进展[J]. 水产学报,2021,45(3):472-485.
- [28] 闫国琦,倪小辉,莫嘉嗣. 深远海养殖装备技术研究现状与发展趋势[J]. 大连海洋大学学报,2018,33(1):123-129.
- [29] 蔡计强,张宇雷,李建宇,等. 10万吨级深远海养殖平台总体技术研究[J]. 船舶工程,2017,39(增刊1):198-203.
- [30] 王程,张露,金东东,等. 基于高通量卫星的深远海网箱智能化养殖检测系统[J]. 卫星应用,2022(6):61-66.
- [31] 张建波,王宇,聂雪军. 智慧渔业时代的深远海养殖平台控制系统[J]. 物联网学报,2021,5(4):120-136.
- [32] 张新昊. 大型深海养殖网箱平台设计及单点系泊系统设计研究[D]. 镇江:江苏科技大学,2020.
- [33] 黎建勋. 基于船联网技术的智慧渔船体系研究[J]. 2020,42(增刊2):24-29,39.
- [34] 李国栋,陈军,汤涛林,等. 渔业船联网关键技术发展现状和趋势研究[J]. 渔业现代化,2018,45(4):49-58.
- [35] 黄温赞,鲍旭腾,蔡计强,等. 深远海养殖装备系统方案研究[J]. 渔业现代化,2018,45(1):33-39.
- [36] 崔铭超,鲍旭腾,王庆伟,等. 我国深远海养殖设施装备发展研究[J]. 船舶工程,2021,43(4):N21-N28.

Discussion and consideration on the development of deep sea aquaculture equipment in China

BAO Xuteng, CHEN Zhixin, CUI Mingchao, HUANG Wenyun

(*Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Shanghai 200092, China*)

Abstract: Deep sea aquaculture is an important way to expand new space for aquaculture development, and reduce the pressure on offshore ecological environment. It is of great significance to improve the quality and efficiency of aquaculture, to modernize fisheries, to ensure world food security and to sustainable development of aquaculture. However, the equipment and technology of deep sea aquaculture are the key to support and realize the development and growth of deep sea aquaculture. This paper briefly introduces the research and application status of deep sea aquaculture vessels and deep sea aquaculture cages, and points out that there is still a big gap between China's deep-sea aquaculture and foreign fishery developed countries in the automation and intelligence of mechanical equipment. This paper discusses the current main problems and future research and development directions of deep sea aquaculture vessels and deep sea aquaculture cages, and makes corresponding discussions and thoughts on the future development of deep sea aquaculture, especially planning objectives, function expansion, scientific and technological support of deep sea aquaculture. This study is expected to provide reference for the research and development of deep sea aquaculture equipment and technology and future marine construction in China.

Key words: deep sea culture; deep blue fishery; cage culture; aquaculture vessel