

# “人工鲸落”型海洋牧场的理论基础与构建体系

薛藤, 田涛, 吴忠鑫, 高东奎, 杨军, 刘敏, 李晓钰

(大连海洋大学辽宁省海洋牧场工程技术研究中心 大连 116023)

**摘要:**海洋牧场作为新的生态型海洋渔业生产方式,同时也是我们获取优质蛋白的重要来源,近年来得到快速发展,目前已形成了增殖型、养护型和休闲型海洋牧场建设模式。随着海洋强国战略的加快实施,海洋牧场逐渐挺进深蓝,在其快速发展的同时也存在建设模式单一、同质化现象突出和生态承载力提升受限等问题,在一定程度上限制了海洋牧场的创新发展。而鲸落生态系统作为海洋生态系统的一部分,其生态作用对海洋牧场的发展将会起到显著的促进作用。文章在系统梳理海洋牧场发展历史和鲸落生态系统原理的基础上,把二者有机结合,将鲸落形成的生态原理充分运用到海洋牧场建设过程中,构建人工鲸落型海洋牧场技术体系和建设模式,通过人工方式充分发挥鲸落等大型动物外源性营养物质的规模化输入效应,提升海洋牧场区域生产力,进而提高资源养护与产出能力,以期为我国海洋牧场建设发展提供新的思路和方向参考。

**关键词:**人工鲸落;海洋牧场;技术体系;建设模式

中图分类号:F326.407;P74

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2022)07-0077-07

## Theoretical Basis and Construction System of Artificial Whale-fall

XUE Teng, TIAN Tao, WU Zhongxin, GAO Dongkui, YANG Jun, LIU Min, LI Xiaoyu

(Center for Marine Ranching Engineering Science Research of Liaoning, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

**Abstract:** As a new ecological marine fishery production method, marine ranching is also an important source to obtain high-quality protein. It has been developed rapidly in recent years and has now formed a multiplication, conservation, and recreational marine ranching construction model. With the accelerated implementation of the maritime power strategy, marine ranching has gradually advanced into the “deep blue”. At the same time as its rapid development, there are also problems such as single construction mode, prominent homogeneity, and limited ecological carrying capacity, which has limited the innovative development of marine ranching to a certain extent. As a part of the marine ecosystem, the whale fall ecosystem will play a significant role in promoting

收稿日期:2021-11-11;修订日期:2022-06-07

基金项目:大连市科技创新基金项目(2021JJ11CG001).

作者简介:薛藤,硕士研究生,研究方向为海洋牧场建设模式研究

通信作者:田涛,教授,博士,研究方向为人工鱼礁、海洋牧场、鱼类行为

the development of marine ranching. Based on systematically combing the development history of marine ranching and the principles of whale fall ecosystems, this paper combined the two organically, fully applied the ecological principles of whale fall formation to the construction of marine ranching, and built an artificial whale fall marine ranching technology system and the construction model, through artificial means to give full play to the large-scale input effects of exogenous nutrients from large animals such as whale falls, and enhance the regional productivity of marine ranching, thereby improving resource conservation and output capacity, in order to provide new ideas and direction reference for the construction and development of marine ranching in China.

**Keywords:** Artificial whale-fall, Marine ranching, Technical system, Construction mode

## 0 引言

我国海域广阔,主张管辖海域面积 300 万 km<sup>2</sup> 余,海岸线绵长且海洋资源丰富<sup>[1]</sup>。广阔的蓝色国土是众所周知的优质蛋白来源,是我们赖以生存的“蓝色粮仓”。2020 年我国水产品总产量 6 549.02 万 t<sup>[2]</sup>,但近年我国内陆和近海渔业资源几近枯竭,天然的渔业资源已无法满足日益增长的消费需求<sup>[3]</sup>。我国海水养殖发展经历了 5 次发展浪潮,到目前为止养殖产量已处于世界首位,但随之带来的养殖污染及养殖病害等问题仍困扰着养殖业的健康发展,而传统的海洋捕捞业也因为近海渔业资源的衰退甚至枯竭而逐步萎缩。如何保障海洋渔业的可持续发展?海洋牧场作为新型的海洋渔业生产方式应运而生,其发展经历了以人工鱼礁、增殖放流为主要内容的传统型海洋牧场和以现代技术应用和现代智能管理为特色的现代化海洋牧场两个阶段。经过近些年的迅猛发展,我国海洋牧场建设从理念构想到初具规模,其形式和内涵不断发展<sup>[4]</sup>。海洋牧场为传统水产行业转型升级、海洋资源开发利用和保护提供了新的模式和途径,有利于推动海洋经济结构的调整,促进经济、生态和社会效益均衡发展,建设海洋经济强国<sup>[5]</sup>。

我国关于海洋牧场理念的提出最早始于 1947 年,而以人工鱼礁为主的海洋牧场建设实践始于 1979 年。我国从 2015 年开始国家级海洋牧场示范区的创建工作,海洋牧场由此进入快速发展期,在 2017 年、2018 年、2019 年连续 3 年的中央一号文件中对海洋牧场建

设做出部署<sup>[6-8]</sup>。在海洋牧场快速发展的同时,也存在建设形式单一和产业链短等问题,存在一定程度的同质化现象,缺乏建设内容和模式创新。无论是传统的海洋牧场还是现代化海洋牧场,其建设过程主要围绕通过物理方法构建生物栖息场,在生物栖息场建设基础上依靠海域自然生产力实现对象生物的增殖及生态系统的稳定构建,均未涉及外源性营养物质的规模性输入,因此其资源性产出就会受到自然生态承载力的限制。近年来关于鲸落的研究以及话题热度有着前所未有的高涨。“一鲸落万物生”,通过人为的对其生态系统进行模拟运用到海洋牧场建设中,从而达到海洋牧场中渔业资源的快速及规模性增殖,是一个值得研究的方向。海洋哺乳动物的误捕现象,以及哺乳动物因为搁浅、误食有害物质引起的自然死亡时有发生,这些动物尸体的处理一般是掩埋或者做标本。建设人工鲸落型海洋牧场可以拓宽动物尸体处理途径,而且符合生命循环的理念。因此本研究将从梳理海洋牧场建设理念及鲸落生态原理的基础上,提出人工鲸落型海洋牧场的建设构想以及技术构建体系,以期为我国海洋牧场的建设提供新的思路和发展方向。

## 1 理念由来

### 1.1 海洋牧场由来与发展

海洋是人类获取高质量蛋白质的“蔚蓝粮仓”,近年来随着商业捕鱼强度的加大,海洋生物资源的数量和质量都出现了极大的滑坡,海洋牧场正是在

这一背景下应运而生。海洋牧场是集生境修复、海洋生物增养殖、海洋生态环境和生物资源监测的一种现代化智慧渔业管理工程。在特定海域,对鱼类资源进行系统开发和管理,建立人工生息场,为水产生物资源生长繁殖创造适宜的栖居环境,进行目标鱼种的增殖放流,依靠系统化的渔业设施和科学化的管理系统,将海洋生物聚集在一起,与在草原上放牧牛羊类似。通过人类有意识和有目的地参与和控制,建设全程人为管理的海洋牧场,其主要目的是确保作为目标经济海洋生物稳定增殖和可持续开发利用。

海洋牧场一词最早由日本于1971年提出,被认为是支撑未来渔业发展的一种新型技术体系,其内涵和外延不断发展,之后建造了黑潮牧场,这是世界上建设的第一个海洋牧场。人们广泛地认为海洋牧场是栽培渔业发展的高级阶段。韩国于1994—1996年进行了海洋牧场建设的可行性研究,并在1998年开始海洋牧场建设的计划,该计划试图通过补充海洋水产资源,形成增养殖场。海洋牧场被定义为在一定的海域建立海洋生物资源养护的综合型设施,人工繁殖和收获水产资源的场所<sup>[9-10]</sup>。美国于1968年提出建设发展海洋牧场的计划,并于1972年开始付诸实施,1974年在加利福尼亚海域通过天然苗床、培育大型藻类取得成效。欧美国家通常将海洋牧场等同于增殖放流,海洋牧场主要过程是放流、生长、捕获<sup>[11-12]</sup>。我国关于海洋牧场的理念萌芽最早由朱树屏<sup>[13]</sup>于1947年提出,即“水产农牧化”。1979年,广西渔业水产厅在北部湾投放了人工鱼礁,这是我国第一个混凝土制的人工鱼礁,这标志着我国正式开始建设海洋牧场。1981—1988年,我国沿海的一些省(自治区、直辖市),如辽宁省、山东省、广东省、广西壮族自治区等分别投放了人工鱼礁,其体积共计20万m<sup>3</sup>余,并且取得了良好的经济效益和生态环境效益<sup>[14-15]</sup>。进入20世纪90年代,更多的专家、学者开始关注海洋牧场的发展,其内涵也不断深化,2009年陈勇<sup>[16]</sup>在总结前人经验及多年研究结果基础上首次提出建设“现代化海洋牧场”,2012年在“海洋牧场的现

在和未来”学术会议上对海洋牧场的概念进行了更为详尽的阐述:现代化海洋牧场是一种基于生态系统,利用现代科学技术和现代管理理论与方法,最终实现生态健康、资源丰富和产品质量安全的一种现代化海洋渔业生产方式。这在国内外是首次提出现代化海洋牧场建设的概念。进入21世纪以来,沿海各省(自治区、直辖市)充分利用海洋资源优势,加快建设人工鱼礁和海藻场,积极发展现代化的海洋牧场。在现代化的海洋牧场建设中,应用了一系列高新技术。例如,自动化技术、机械化技术,使人工鱼礁投放、海洋牧场效果调查评估、生态采捕更加准确;声、光、电等技术手段,应用于高效控制鱼类行为,大大提升了海洋牧场资源监测与评估的有效性与准确性;信息化、可视化技术和卫星遥感技术的应用,提高了数字化灾害预警防控的管理水平及能力。目前,我国已实施了以养护型、增殖型、休闲型为主要类型,覆盖渤海、黄海、东海与南海的153个国家级海洋牧场示范区及其他海洋牧场。据测算,可产生直接经济效益超过300亿元。现代化海洋牧场的生态效益更加可观,是实现碳达峰和碳中和的一个重要手段<sup>[17]</sup>。

海洋牧场建设的基础是构建生物栖息、索饵、生长、繁殖所需的人工生息场,通过生息场构建后的光、声、流、底、味等非生物环境的改变,从而引起浮游生物、附着生物、底栖生物和游泳生物等生物环境的变化,使得渔业资源得到有效养护和增殖,其建设过程一般是通过改变环境提升自然生产力增殖对象物种,从而提高经济产出。虽然某些海洋牧场的中间育成环节会有微量投饵的过程,但现阶段的海洋牧场建设并不涉及人为外源性营养物质的大规模输入,因此其生产力能力的提升受到一定限制,其自然承载力也相应受限,这在一定程度上会影响资源有效产出速度和水平。

## 1.2 鲸落生态系统

鲸自然死亡后,由于其体型庞大无法被其他生物快速地分解而沉入海底,是从海洋表面落下的最大形式的碎屑,鲸尸主要由蛋白质和脂类组成,为营养和能量匮乏的海底带来大量的有机营养物质。

沉入深海这一过程及其形成的海洋生态系统称为鲸落,一具鲸鱼的尸体可为以分解者为主的循环系统供给所需的营养物质长达数百年,生成了在特定条件下需要4000年才能积累而成的营养物质,是鲸对深海生物的丰厚赠礼<sup>[18]</sup>。死后的鲸到达海底后,为原本食物有限的深海提供了大量的食物、庇护所和基质,产生了一个不同于周围海洋底栖生物的栖息地,鲸落生态系统实际上是深海生态系统的组成部分。1998年,夏威夷大学海洋生物学家Smith Crag教授发现,在北太平洋深海中,至少有43个物种的上万个生物体是依靠鲸落这个局域化的复杂生态系统存活的。其中包括蛤蚌和蠕虫等海洋生物会在鲸尸旁一点点吃掉其残余物。这些生物具有化能自养的作用,它们可以通过化学反应自己生产食物。化能自养类似于植物的光合作用,但是不需要获取太阳光(因为阳光无法穿过深海)。经过对这种新奇又罕见的生态系统深入研究,生物学家们发现这些化能自养生物会蚕食富含脂肪的鲸鱼骨头,随后,细菌会制造硫化氢( $H_2S$ ),创造出类似于海底热液的富硫环境,成千上万的化能自养海洋生物再将 $H_2S$ 转为能量,供它们繁衍生息。

鲸尸沉入海底之后将经历4个阶段:第一个阶段移动清道夫阶段(mobile-scavenger stage),该阶段90%的鲸尸软组织被鲨鱼和盲鳗等食尸生物消耗,该阶段一般会持续4~24个月;第二个阶段机会主义阶段(enrichment opportunist stage),该阶段由能快速适应环境的多毛纲、涟虫目和甲壳类的无脊椎动物包围并栖居在鲸骨上继续蚕食,并不断改变着它们栖居的鲸尸环境;第三阶段硫化阶段(sulphophilic stage),这一阶段可持续数十年,大量的厌氧性生物进入鲸尸残骸分解其中的硫化物,利用溶解在水中的硫酸盐作为氧化剂,产生 $H_2S$ ,然后吸收 $CO_2$ 合成有机物,为贻贝、蛤蜊和海螺等200余种生物提供养分,供它们生长;这些生物将鲸尸中的有机物质消耗殆尽之后,鲸尸最终以礁岩的形式留在海底,成为一种天然的鱼礁,这便是鲸落的最后一个阶段——礁岩阶段(reef stage)。鲸鱼坠落影响深海方式类似于森林中的树木坠落,通过提供一

些生物的食物来源,栖息基质,供给多样化的生物生存。持续的、丰富的食物条件和广泛发生的鲸落,以类似于深海热泉和冷泉的方式,为深海的生态和进化提供了机会。在北太平洋,60余种大型动物与鲸落有关。尽管远洋捕鲸最初可能增加了到达深海的鲸鱼尸体的数量,后来的船上处理和种群的连续耗损导致了此类遗骸数量的减少<sup>[19-20]</sup>。

自1987年偶然发现鲸尸以来,随着水下探测技术和深海机器人技术的发展,为了研究鲸落生态系统,海洋生物学家们人为地模拟了鲸尸坠落。2003—2005年,日本海洋地球科学与技术研究机构曾将搁浅的鲸鱼尸体投放到位于日本南部219~254 m深的海底,并对其进行了相关的研究。此外,海洋生物学家用鳄鱼等生物遗体代替鲸尸,模拟鲸落生态系统。2011—2012年,Hilario等<sup>[18]</sup>将牛尸投入到塞图巴尔峡谷1000 m深处模拟鲸落生态系统,结果发现牛尸沉没后能够达到硫化氢阶段,这代表着牛尸沉没已经达到了自然鲸落的第三个阶段。

然而,并不是所有的鲸鱼尸体死后都会沉入海底。有些搁浅在海岸线上,从而将海洋生物运输到海陆交界面。虽然搁浅鲸鱼的数量与沉没的鲸鱼相比较少,但鲸鱼尸体可以吸引和喂养大型陆地消费者,包括熊、其他食肉哺乳动物和食腐鸟类,以及无脊椎动物等。

可以说鲸落周围随着时间的演替会形成较为复杂的生态系统<sup>[21]</sup>,鲸鱼等大型水生动物的尸体可以为周围的生物提供丰富的营养物质,从而提高营养转换速率,能够在其周围较快地形成小生态系,同时由于规模性营养物质的输入,使得整个系统的产出得以提升。

## 2 理念与建设内容探索

### 2.1 人工鲸落型海洋牧场定义

鲸落的生态作用从一定程度上对海洋牧场的发展大有裨益,动物尸体的人工外源性输入使得海洋牧场局部区域的营养物质得到迅速丰富,从一定程度上解决了自然生产力提升速度慢的问

题,也能够使海洋牧场生态系统得到快速构建。至今,海洋牧场、鲸落已经有了明确的定义,也各自形成了理论体系。鉴于鲸落生态系统和海洋牧场生态系统的相辅相成等方面的意义,因此有必要对人工鲸落型海洋牧场进行探索性研究,其主要内容是将两者有机结合,通过适宜选址进行人工鲸落,从而模拟自然鲸落生态系统,补充自然生产力,快速构建海底生物群落,并有助于经济物种的养护与产出,这本质是一种新型的海洋牧场。因此笔者将其定义为:在一定适宜的海域,通过人为地沉没死亡鲸类等大型动物的尸体以模拟自然鲸落生态系统,并为经济对象生物提供重要的食物及能量来源以及庇护基质等功能,以此达到资源增殖及生物多样性保护效果的一种新型海洋牧场。

人工鲸落型海洋牧场的建设是对海洋生物资源开发与利用的创新性探索。①通过人工鲸落这个过程实现了大型哺乳动物的溯本求源性回归,将海洋动物的尸体重新投入到海洋生态系统的物质循环和能量传递过程中,是对回归自然、反馈海洋的探索实践;②将人工鲸落作为海洋牧场构建过程的核心要素,将外源性营养人为规模性输入,对海洋牧场局部生态系统的构建起到重要推动作用,重要经济物种的增殖效果将会在一定时间内得到快速提升;③大型水生哺乳动物的尸体被摄食分解之后,其尸骨除了为一些蠕虫类提供栖息场之外,也可以作为一定结构的设施物一定程度上起到人工鱼礁的鱼类诱集和养护作用,可谓一举多得。

## 2.2 人工鲸落型海洋牧场建设内容

目前,国内外尚无人工鲸落型海洋牧场相关理念、技术体系和建设实践的先例,亟待通过实验研究人工鲸落型海洋牧场的作用机理以及特定成效,建设这种新型海洋牧场,更好地实现生态平衡,提高经济效益。鲸生食万物,鲸落万物生,作为人工鲸落型海洋牧场的建设探索,其建设内容主要可以分为海上平台和水下鲸落系统两部分,分别寓意鲸生和鲸落两种生态系统。

海上平台的功能主要有:海景观光、垂钓体验、运营管理、休闲娱乐、环境监测、生物行为驯化、安全救助和科普教育等,可设生活设施区、生产设施区和能源供应区等区域,海上平台整体外观设计可呈鲸状,寓意鲸生,体现其景观生态功能。其中鲸头可对应能源供应区、鲸身和鲸尾对应生活设施区和生产设施区。在生活设施区可修建鲸生博物馆,展览鲸类所食的生物类群,如磷虾和贝类等小型甲壳动物、小型群游性鱼类以及底栖生物。设施区可通过室内VR体验增强人工鲸落的互动性,还可在平台周围借助大型机器模拟鲸鱼的水上呼吸换气、游动等动作,增强海上观鲸互动体验。

水下人工鲸落系统,在同一海洋牧场区域内,在深海中投放鲸鱼(或大型动物)尸体,并以尸体为中心,周围投放一些动物尸骨形态的人工鱼礁,在最外围种植海藻形成海藻场。海洋牧场中的目标经济鱼种可以通过啃食所投放尸体的软组织得到生长,这些辅助性的人工鱼礁能提供鱼类栖息场所,与人工投放的自然尸骨形成联动效应,海藻场设在最外围,能为鱼类躲避敌害提供天然的屏障,由此为鱼类提供了适宜的生境以及充足的食物供应。同时,为实现人工鲸落型海洋牧场的合理布局,人工鲸落型海洋牧场目标经济生物的选择应该因地制宜地选择适合特定海域生存的食腐性鱼类等其他海洋生物。对其进行有计划的增值放流和行为驯化。此外,为实现海洋牧场的高效运行与可持续发展,需要将物联网、大数据等现代化信息技术融入到海洋牧场建设管理的全过程,构建海洋牧场生态。资源、环境实时监测与突发状况智能辅助决策平台。

## 3 人工鲸落型海洋牧场的建设意义

人工鲸落型海洋牧场的建设不仅具有理论上的基础还具有现实性的意义,主要体现在以下几个方面:①提升海洋牧场经济效益,传统型海洋牧场仅为海洋生物提供适宜的生境,缺乏稳定的摄食网络,而鲸等大型动物这种规模化的营养物质输入能

够提高海洋牧场生物的生长速率,在一定程度上增加海洋牧场生物资源产出,从而促进海洋牧场经济效益提升;②形成海洋生态景观,人工鲸落型海洋牧场是一种可持续发展的渔业增养殖方式,符合生态系统内部物质循环和能量转换的规律,其整个过程体现了鲸的溯本求源、返璞归真,投放在海洋牧场中的鲸尸以及周围各种动物形态的人工鱼礁在海洋牧场中形成一道独特的生态景观线;③推动休闲渔业发展,人工鲸落型海洋牧场包含蓝天、碧海、阳光、岛礁在内的自然景观,以及鲸落生态系统的综合景观,可以开展垂钓、潜水、冲浪等水上水下休闲体验项目,品尝新鲜的海味美食,观看大自然的神奇,追求别致的海洋游玩体验。④发挥科研教育作用,海上展馆和 underwater 体验项目使学生置身海底世界,近距离接触海洋生物,这种沉浸式、体验型的科普教育方式更能激发学生的求知欲,可以作为学生开展校外研学活动的教育基地,为科研工作者搭建对海洋深层研究的桥梁。

#### 4 存在问题

由于鲸鱼死亡的时间和搁浅的地点难以预测以及搁浅的鲸鱼内部组织和器官会发生快速腐烂,导致细菌滋生并不断扩散,其尸体的蛋白质分解后会释放出甲烷、氨和硫化氢等气体,使其不断膨胀成圆滚滚的气球,爆炸也就一触即发,鲸在运输的过程中容易发生鲸爆,因此实践难度较大。我国关于鲸落的研究较少,还需要从以下几个方面进行深入研究:①精确预测鲸鱼等大型水生哺乳动物死亡的时间和搁浅的地点;②研究鲸等大型水生哺乳动物尸体投放到海底的技术;③积极探寻其他可以代替或模仿鲸落的大型动物,以弥补鲸尸发现、搬运、投放的不确定性及其复杂性;④研究人工鲸落型海洋牧场区鱼类资源数量、质量监测与评估技术。此外,人工鲸落型海洋牧场的建设离不开各个主体的管理与建设,主要包括国家和地方政府、海洋牧场运营者、相关专业人才和消费者。国家和地方政府应对人工鲸落型海洋牧场给予政策支持和资金扶持,建立人工鲸落型海洋牧场相关管理办法,出

台相关法律法规约束个人和海洋牧场经营行为;海洋牧场运营者应制定人工鲸落型海洋牧场运营章程,注意事项,完善安全管理配套设施,注重海洋牧场经营的安全性、环保性与可持续发展;相关专业人才应该继续对海洋牧场和鲸落做更深入的研究以更好地服务于人工鲸落型海洋牧场建设;消费者应该提升对新型海洋牧场的接纳程度并乐意为新型海洋牧场的成果及产品买单,增加新型海洋牧场体验的同时并约束自己的行为,遵守新型海洋牧场的各项规章制度。

#### 5 展望

目前中国经济发展进入高质量发展阶段,海洋经济发展也突飞猛进,作为海洋经济的重要组成部分,海洋牧场近年来发展迅速。海洋牧场和鲸落属于跨界融合发展的代表,对于打破传统发展思路,开发具有创新性的海洋牧场具有重要意义,但在我国甚至世界尚无试点先例,存在的问题还很多。需要多学科、各相关科研单位以及政府、企业多方联合,突破关键技术“瓶颈”,实现人工鲸落型海洋牧场从理念到技术、装备及管理的全面现代化。为未来海洋牧场的发展提供示范和参考。

#### 参考文献

- [1] 贾敬郭.保护利用海洋资源大力发展海洋农业[J].中国农村科技,2013(11):4.
- [2] 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.2020年中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2020.
- [3] 杜元伟,单玉坤.我国海洋牧场生态安全监管政策设计[J].中国海洋大学学报(社会科学版),2021(4):11-21.
- [4] 梁振林,郭战胜,姜昭阳,等.“鱼类全生活史”型海洋牧场构建理念与技术[J].水产学报,2020,44(7):1211-1222.
- [5] 田涛,张明辉,杨军,等.国际化海洋牧场的体系构建及未来发展浅析[J].海洋开发与管理,2021,38(11):55-61.
- [6] 原野.2017年中央一号文件解读[J].福建农业,2017,(1):14-16.
- [7] 《海洋与渔业》综合报道.2018中央一号文件发布 提出建设现代化海洋牧场[J].海洋与渔业,2018(2):24.
- [8] 廖静.2019年中央一号文件公布 推动农业高质量发展[J].海洋与渔业,2019(3):14-15.

- [9] 刘卓,杨纪明.日本海洋牧场(Marine Ranching)研究现状及其进展[J].渔业信息与战略,1995(5):14-18.
- [10] 余远安.韩国、日本海洋牧场发展情况及我国开展此项工作的必要性分析[J].中国水产,2008,388(3):22-24.
- [11] STEELE J H, THORPE S A, TUREKIAN K K. Encyclopedia of ocean sciences[M]. New York: Academic Press, 2008.
- [12] TAYLOR M D, CHICK R C, LORENZEN K, et al. Fisheries enhancement and restoration in a changing world[J]. Fisheries Research, 2017, 186: 407-412.
- [13] 朱树屏.朱树屏文集[M].北京:海洋出版社,2007.
- [14] 曾呈奎,毛汉礼.海洋学的发展、现状和展望[J].科学通报,1965(10):876-883.
- [15] 陈君,张忍顺.我国海洋农牧化发展研究[J].地理与地理信息科学,2000,16(1):22-26.
- [16] 陈勇.中国现代化海洋牧场研究与建设[J].大连海洋大学学报,2020,35(2):147-154.
- [17] 杨红生,章守宇,张秀梅,等.中国现代化海洋牧场建设的战略思考[J].水产学报,2019,43(4):1255-1262.
- [18] HILARIO A, CUNHA M R, GENIO L, et al. First clues on the ecology of whale falls in the deep Atlantic Ocean: results from an experiment using cow carcasses[J]. Marine Ecology, 2015, 36(Suppl S1): 82-90.
- [19] ROMAN J, ESTES J A, MORISSETTE L, et al. Whales as marine ecosystem engineers[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2014, 12(7): 377-385.
- [20] 鲸落,深海生命的“绿洲”[J].发明与创新(大科技),2020(5):58.
- [21] 刘洁丽.鲸落,深海中的另类生态系统[J].科学大众(中学生),2015(6):41-43.