

文章编号: 1674-5566(2025)03-0707-08

DOI: 10.12024/jsou.20240504556

虾蟹养殖用移动式自主投饵装置设计与试验

崔秀芳, 夏霖波, 安楠楠, 苑晓聪, 徐信

(上海海洋大学 工程学院, 上海 201306)

摘要:为了解决传统虾蟹养殖投饵装置投饵过于集中的问题,以及研究渔场分布规律在虾蟹养殖中的应用,通过整体结构布局、储料舱、投饵装置、垃圾收集装置、控制系统和动力装置等方面的研究,完成了移动式自主投饵装置的机械结构及智能控制系统设计,进行了稳定性和运动可行性分析,并试制投饲装置样机,进行了水下立体投饲试验。该装置可搭载5 kg饵料,通过推进装置和压水舱进行水下立体投饲,能够模拟自然水域中虾蟹的行为模式,优化饲料分布,从而更贴近自然生态的投饲环境。试验结果表明,该装置可在水下6个不同深度进行投饲,投饲速度为4.9 kg/min,能够满足智能化立体投饲需求,并能收集养殖过程中产生的浮漂垃圾。该投饲装置投喂饲料灵活均匀,可代替人工投饲,减轻劳动强度。同时,可以借助该智能装置记录水体和虾蟹等相关参数,用于渔场分布状况的研究,进一步助力渔场分布规律在水产养殖中的应用,为智慧化精准化养殖提供新的思路。

关键词:水产养殖; 智能投饲装置; 推进装置; 自主投饲; 环境保护

中图分类号: S 969.31 **文献标志码:** A

智能投饲设备作为水产养殖的核心技术之一,有效降低了劳动强度,其发展和优化对提高养殖效率、降低环境影响具有重要意义^[1-2]。另外,在立体智能投饲设备中,搭载数据采集与控制单元,能够记录或控制环境、水体、虾蟹等各种参数,为在水产养殖中借鉴自然渔场分布规律提供技术基础。

目前最常见的投饲方式是人工投喂,但其在立体养殖的区域,无法有效对不同水深进行精准投喂,降低了水产养殖的效率^[3]。针对现有装置投饲量不精准、自动化程度低等问题,唐荣等^[4]开发了一种池塘养殖精准投饲系统。潘世琦等^[5]提出了一种精准化、智能化的投饲方法,显著提升了饲料的利用率。张世中等^[6]设计了一种专用的深水养殖水性给料投饲机,能在深水养殖环境下实现水下投饲。BORSTEL等^[7]针对人工投喂饲料量不准确易造成交叉污染的问题,设计了一种具备定量投饲和实时水质监测功能的机器人,有效降低了交叉污染的风险。

综合以上研究,当前水产养殖投饲装置的研究工作主要聚焦在水面投饲^[8],本研究设计的移动式自主投饵装置可以进行水下立体投饲,投饲过程中可以模拟南极磷虾的垂直洄游行为,采集到的数据可以有效支撑南极磷虾渔场分布的研究。解决了饲料投喂不当引起养殖环境污染和饲料浪费的问题,并为渔场分布规律在虾蟹养殖中的应用研究提供一种全新的思路与方法。

1 投饲装置结构与工作原理

1.1 整体结构设计

投饲装置的结构设计对其自身性能如运动稳定性、快速性阻力和耐波性有很大的影响^[9]。本研究中的虾蟹养殖用移动式自主投饲装置的包括机体设计与装配、动力机构设计、垃圾收集与饲料投喂结构设计、控制系统的设计等,首次提出利用小水域模拟研究渔场分布规律,该装置可以模拟自然水域中虾蟹的洄游行为。

收稿日期: 2024-05-21 修回日期: 2024-07-01

基金项目: 农业农村部渔业船舶检验局渔船船用产品企业产品认可清单管理项目(D-8005-17-0052); 上海市工程技术研究中心建设计划(19DZ2254800)

作者简介: 崔秀芳(1972—),女,副教授,硕士生导师,研究方向为船舶与海洋工程、渔船智能化。E-mail:xfcui@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydxxb.com>

1.1.1 结构设计与优化

基于投饵装置所携带的饵料负载量、密闭性及可靠性等问题,设计符合气密性的外壳体。考虑到垃圾收集与投喂饵料的要求,设计漂浮垃圾收集舱,密闭且体积可变的储料舱以及压水舱。设计一体式下料杆实现饵料搅拌、送料以及下料动作。结合投饵装置在水域中航行的灵活性,设计电磁阀将压水舱内给水与排水,控制投饵装置进行升降;同时为模拟自然水域中虾蟹的洄游行为,设计四向推进器,包括推进喷头、电磁阀及潜水式水泵,控制投饵装置四向移动。

1.1.2 控制系统的设计

投饵装置搭载水下深度传感器、水质传感器和水温传感器。水下深度传感器用于实时监测

装置的水下位置和深度,以便确定最佳投饲位置。水质传感器用于检测养殖水域的水质情况。采用微控制器单元(MCU)作为主控制单元,负责接收传感器反馈数据并实现对泵喷推进器的精确控制。MCU还需集成通信模块,以便与外部监控系统进行数据交互和远程控制。结合水下深度传感器数据,实现对泵喷推进器的智能化运动控制,包括定点停留、沿指定路径移动和垂直调整等功能,以适应不同养殖环境的需求。

设计稳定可靠的电源管理系统,满足整个装置及控制系统的电能需求,同时考虑节能和环保要求。整合远程监控系统,实现对装置状态的实时监测和远程操控,并通过数据分析优化投饲策略,提高养殖效率。见图1。

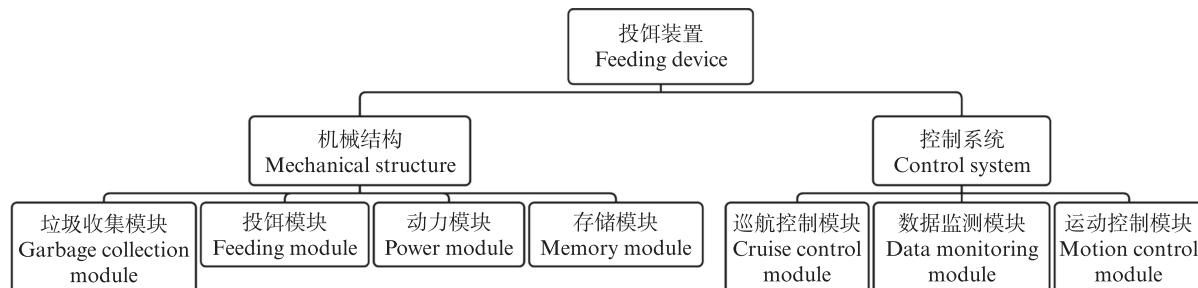


图1 浮漂垃圾收集与水下投饵装置结构框图

Fig. 1 Structural diagram of floating garbage collection and underwater feeding device

1.2 机体设计与装配

1.2.1 总体结构布局设计

总体布局的优劣直接影响水下机器人的使用性能。水下投饵装置主要由外壳体、漂浮垃圾收集舱、储料舱、压水舱、投饵装置、动力装置等组成。外壳体为水下投饵装置的外部框架,包括密封盖、密封塞、底座等。浮漂收集盖与浮漂收集筒浮动连接,形成漂浮垃圾收集舱,用于收集漂浮垃圾。浮漂收集盖活动套设于密封盖外侧,其中包括中空盖体、若干浮体、O型密封垫、弹性密封垫等。浮漂收集筒包括同心布置的储料内筒和外收集筒以及位于底部的排料腔。总体结构布局如图2。

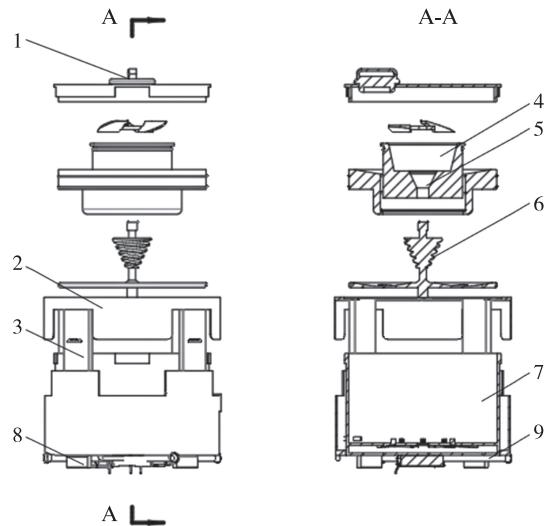
1.2.2 漂浮垃圾收集机构设计

水下投饵装置在水面航行时,利用浮漂收集盖的自重及其在浮漂收集筒内水中的漂浮力,使浮漂收集盖随浮漂收集筒内水位的高度同步上升或下降。在装置内部设有垃圾拦截网,浮漂垃

圾跟随水流进入浮漂收集筒内,浮漂收集筒内的水通过水泵定时抽出,从而自动连通或关闭内收集孔和外收集孔,而水中的浮漂垃圾被垃圾拦截网拦截留在浮漂垃圾收集筒内,从而实现自动进水及漂浮垃圾的自动收集。见图3。

1.2.3 投饵装置设计

上部的储料舱与下部的压水舱采用活塞式的结构设计,整体容积不变,利用压水舱进水量与排放的饵料形成质量互补,可在保证不同下潜深度的同时,最大限度地提高了机器人的饵料载容量;采用一体式下料杆的结构设计(图4)。通过一个驱动电机同时驱动控制搅拌轴、下料转子及底部的下料转盘同步转动,同时实现搅拌、送料以及下料动作,在上排料底板上设置呈散射状的导流板,利用下料转盘的转动将进入排料腔的饵料引导至排料孔,通过排料孔和下料孔的错位连通实现饵料排放,且下料转盘上的锥形导流台和排料凹槽更有利于提高饵料下料效率。



1. 密封盖; 2. 漂浮收集盖; 3. 漂浮收集筒; 4. 下料内筒; 5. 活塞式浮筒; 6. 一体式下料杆; 7. 外收集筒; 8. 四向推进器; 9. 推进喷头。
 1. Sealing cover; 2. Floating collection cover; 3. Floating collection cylinder; 4. Cutting inner cylinder; 5. Piston float; 6. Integrated discharge rod; 7. External collection cylinder; 8. Four way thruster; 9. Pushing nozzle.

图2 装置结构图

Fig. 2 Structural diagram of the device

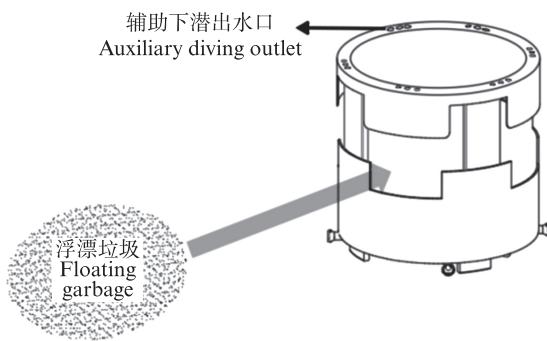


图3 漂浮垃圾收集装置图

Fig. 3 Diagram of floating refuse collection device

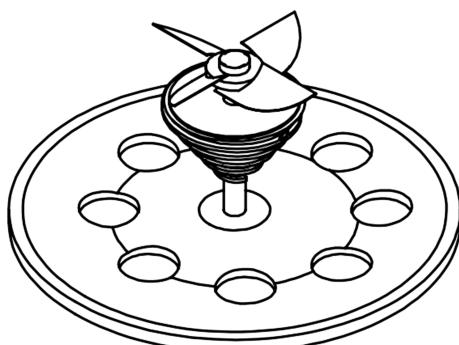


图4 一体式下料杆图

Fig. 4 Integrated cutting rod diagram

1.2.4 升降机构设计

浮漂收集盖与浮漂收集筒采用可拆卸连接，

当需要收集漂浮垃圾时,将浮漂收集盖浮动设置在浮漂收集筒内;当需要进行水下航行投喂时,将浮漂收集盖浮动通过卡条旋紧并密封固定在挡板内侧的卡块上,通过水泵向浮漂收集舱内充水,利用压力差水流从顶部浮漂收集盖的喷射孔喷出,形成向下的推力,控制机器人下潜至预设深度。储料内筒整体采用密闭设计,采用活塞式浮筒将其内部空间分割为体积互补的压水舱和储料舱,采用水泵控制压水舱的水容量,通过控制水舱的水容量控制自身质量,继而调控浮力大小辅助控制设备在水中下降或上浮。

1.2.5 控制系统设计

本研究设计的水下投饵装置是为虾蟹养殖设计的移动式自主投饵装置。它采用泵喷推进器作为驱动装置,底部配备有4个十字分布的推进器,以实现水下运动和精确操控。该水下投饵装置使用STM32F407 Core Board作为主控模块,泵喷推进器作为推进模块,通过PWM信号控制,实现机器人的水下运动;搭载深度传感器、水质传感器、水温传感器和GPS模块,以获取水下环境的各种信息并实现定位和姿态控制。见图6。

泵喷推进器驱动虾蟹养殖用移动式自主投饵装置主要在虾蟹养殖塘内实现立体投放饲料、垃圾收集和水质监测功能。GPS模块、深度传感器、水质传感器和水温传感器将水下投饵装置的坐标、深度以及水质数据发送给主控模块,主控模块将数据打包,通过串口传输给ESP8266,该模块使用TCP协议将数据包无线传输给PC上位机,上位机软件通过解析数据包将坐标数据、深度数据及水质数据显示在QT界面上,上位机可将移动指令通过ESP8266传输给主控模块,主控模块输出PWM信号使推进模块工作,实现水下投饵装置水下移动的功能。

上位机软件通过Wi-Fi连接上ESP8266后,可在软件界面上显示水下投饵装置当前的坐标信息及深度数据;界面右下角显示pH、浊度和温度等各种水质数据;在打开自动投喂开关后,可以查看历史投喂量曲线、预测投喂量曲线以及剩余饵料量。上位机软件可以有效及时反馈装置当前状态,保证装置正常工作。

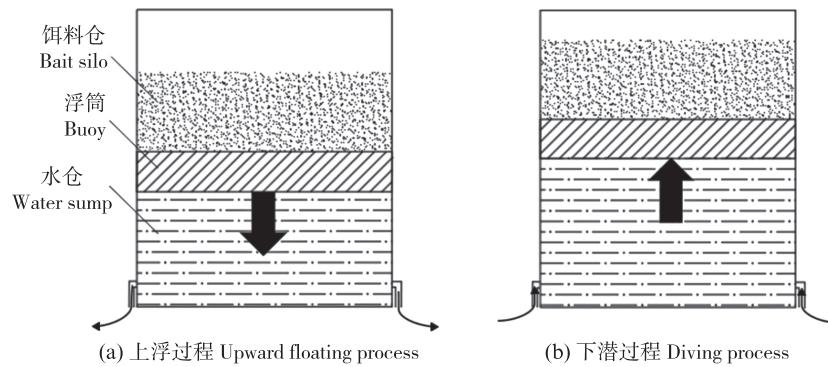


图5 上浮下潜示意图
Fig. 5 Diagram of floating and diving

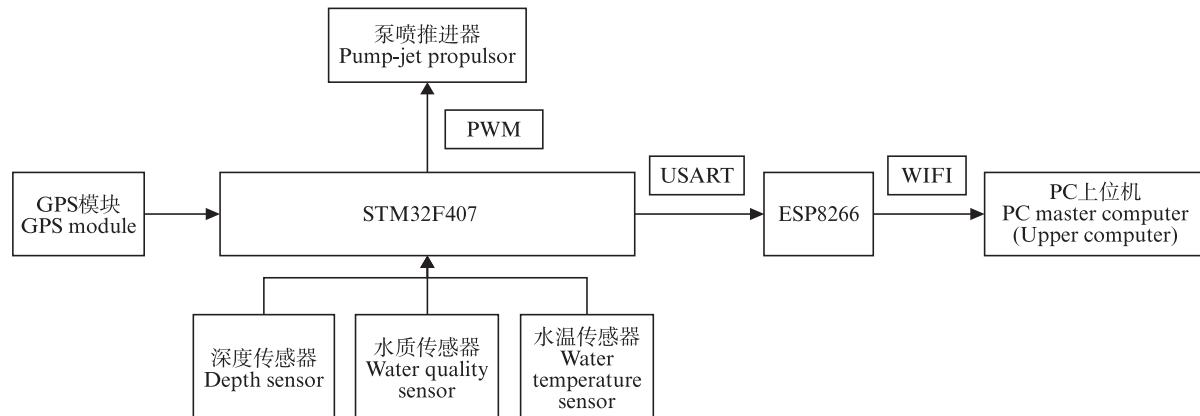


图6 控制系统结构简图
Fig. 6 Control system structure diagram

2 可行性分析

2.1 水下投饵装置稳定性分析

水下投饵装置的稳定性是指装置在水下运动或停止时,不受外界扰动或内部干扰而保持平衡和稳定的能力。稳定性是水下投饵装置设计和运动控制的一个重要指标,关系到装置的安全性、运动性能、有效性和可靠性。水下投饵装置的稳定性设计主要是把机器人的重心和浮心设计到一条铅垂线上,并使重心在稳心之下。经SolidWorks软件设计计算机体各部件质量如表1所示。

表1 机体各部件质量
Tab. 1 Body component mass

部件 Parts	质量 Mass/kg
外壳体 Shell body	2.445
储料舱 Material storage compartment	1.312
投饵装置 Bait feeding device	0.533
动力装置 Power device	0.632

机体的总质量为构成机体各部分质量之和,计算公式:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n = \sum W_i \quad (1)$$

式中: W 为机体的总质量, kg; W_i 为构成机体各部分质量之和, kg。

浮力方程式为

$$\Delta = \rho k \nabla \quad (2)$$

式中: Δ 为机体的排水量, kg; ρ 为水密度, t/m³, 淡水为 1.0 t/m³; k 为附体体积系数, 水下投饵装置取 $k=1.01$; ∇ 为对应载况下的排水体积, m³。

当机体在水中达到平衡时, 其浮力等于重力, 故

$$\Delta = \sum W_i = rk \nabla \quad (3)$$

根据SolidWorks软件模型测算, 机体排水体积 $V=0.002\text{6 m}^3$, 故机体在空载时, 最大排水体积为 0.0026 m^3 , 最大吃水深度为 100 mm, 经计算, $W=4.932\text{ kg}$ 。机体所能提供最大浮力大于空载机体质量, 此时可以进行水面漂浮垃圾收集任务。

当进行水下投饵任务时, 根据投饵任务将对

应饵料装进储料舱,通过将压水舱内部注水增加机体质量使重力大于最大浮力,从而完成下沉任务。当给压水舱注满水时,根据公式(4)可以进行水下投饵任务。

$$m = \rho V \quad (4)$$

式中: ρ 为水的密度; V 为注入水的体积。压水舱增加的质量为1.05 kg,机体总质量为4.932 kg,满足总装机质量大于最大浮力的要求。

2.2 推进器布置可行性分析

图7为四向推进器速度控制示意图。四向推进器在机体的4个方向对称布置,点C为驱动作用点。在坐标系中,机体的姿态角可用航向与x轴夹角 γ 表示, V_1 、 V_2 及 V_c 分别为驱动器1、2和中心点C的速度,单位m/s,可以通过控制 V_1 和 V_2 的速度从而控制 V_c 的方向和速度。由 V_1 、 V_2 之间的速度大小关系决定了 γ 的角度,通过改变 V_1 、 V_2 的速度大小可完成水下投饵装置基本运动,该方案可行。

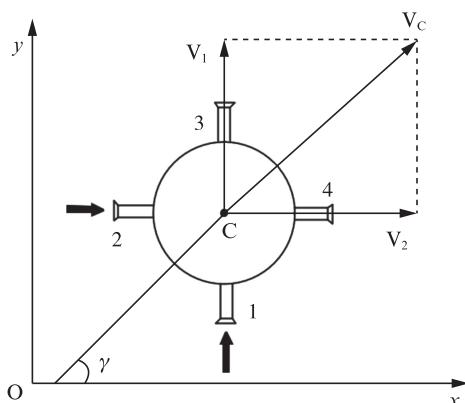


图7 速度关系简图

Fig. 7 Velocity relationship diagram

3 投饲装置试验

验证虾蟹养殖用移动式自主投饵装置能否完成设计功能,根据设计要求及参数试制了一台装置样机,并在养殖水域进行功能试验。

3.1 样机试制

根据表2所示参数设计了虾蟹养殖用移动式自主投饵装置的样机。

3.2 装置投饵试验

为验证该装置能否完成设计工作,2024年3月15日在安徽巢湖某水产养殖塘内进行了虾蟹养殖用移动式自主投饵装置测试验证,如图8所

示,经多次试验,投饵装置最大可以装载5 kg饵料,投饲速度为4.9 kg/min。将装置装满饲料,放入水中,通过上位机软件操控装置移动到投饲水域,一体式下料杆将储料舱内的饵料向下输送至排料舱进行投饲。水下各深度投饲曲线如图9所示,经过测试,该装置投饲均匀稳定,操作可靠,可以实现设计功能,满足养殖水域投饲需求。

表2 水产养殖装置设计参数
Tab. 2 Aquaculture plant design parameter

名称 Name	长度 Length/mm
产品半径 Product radius	115
密封盖高度 Sealing cover height	56
外筒高度 Outer cylinder height	169
内筒半径 Inner cylinder radius	99
浮筒高度 Float height	35
搅拌扇叶半径 Stirring fan blade radius	50
一体式搅拌总高度 Integrated mixing total height	86
潜水式水泵最大长度 Maximum length of submersible water pump	60
内筒高度 Inner cylinder height	69
四相多通阀长度 Length of four phase multi way valve	86
喷管半径 Nozzle radius	10

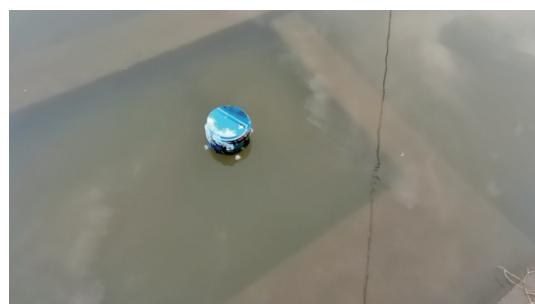


图8 投饲装置工作图

Fig. 8 Working diagram of the feeding device

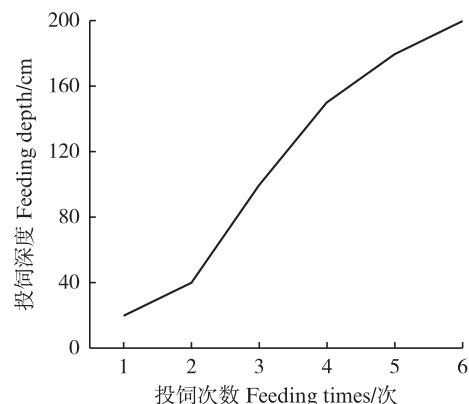


图9 投饲深度曲线

Fig. 9 Feeding depth curve

4 结论

本研究对水产养殖投饲方法进行了深入研究,完成移动式自主投饵装置的整体结构、储料舱、垃圾收集装置和投饲装置的机械结构设计,并针对该装置的工况进行了相应的控制系统和推进装置设计,完成了投饲装置的稳定性和运动可行性分析,验证了装置在多个水下深度进行立体投饲的能力。该装置可以在水下多个深度进行立体投饲,确保饲料均匀分布,该装置在水面工作时可以收集水面垃圾以避免养殖环境污染。这为水产养殖环境的保护和整治提供了有效的解决方法,有利于提升养殖场的环境质量。该装置在水下20、40、100、150、180和200 cm等多个深度进行了试验,运用小水域进行模拟渔场分布规律的研究。未来可以进一步改进装置,实现定量投饲、自动巡航等智能化功能,进一步提高养殖效率和资源利用率,并进一步扩展其渔场分布规律研究的功能。同时,还可以结合大数据和人工智能技术,对养殖过程进行监控和优化,实现精准养殖和智慧管理。随着技术的不断发展和完善,相信这一装置能为水产养殖业的可持续发展和环境保护作出更大的贡献。

作者声明本文无利益冲突。

参考文献:

- [1] 孔宪锐,张卿,李洪波,等.淡水鱼圈养模式气送式投饲系统设计与试验[J].农业机械学报,2024,55(8):152-160.
KONG X R, ZHANG Q, LI H B, et al. Design and Experiment of Pneumatic Feeding System for Freshwater Fish in Juanyang Mode [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024, 55 (8) : 152-160.
- [2] 胡庆松,郑波,曹佳瑞,等.船载投饵装置平衡抖料系统设计与试验[J].上海海洋大学学报,2020,29(6):928-937.
HU Q S, ZHENG B, CAO J R, et al. Design and test of balanced shaking system for boat-borne bait feeding device [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2020, 29(6) : 928-937.
- [3] 周梦海,李慷,张文博,等.不同养殖模式下罗非鱼养殖水体异味物质的含量及其变化[J].上海海洋大学学报,2016,25(4):528-533.
ZHOU M H, LI K, ZHANG W B, et al. Concentration and variations of odor substances geosmin and 2-methylisoborneol in different tilapia culture waters in south China [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2016, 25(4) : 528-533.
- [4] 唐荣,沈逸,许鹏,等.池塘养殖全自动精准投饲系统设计与应用[J].农业工程学报,2021,37(9):289-296.
TANG R, SHEN Y, XU P, et al. Design and application of the automatic precision feeding system of pond aquaculture [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(9):289-296.
- [5] 潘世琦,毛罕平,王斌,等.基于六轴传感器的鱼群摄食规律与投饲方法研究[J].渔业现代化,2023,50(3):56-63.
PAN S Q, MAO H P, WANG B, et al. Study on feeding rule and baiting method of fish based on six axis sensor [J]. Fishery Modernization, 2023 , 50(3) : 56-63.
- [6] 张世中,张天时,刘国涛,等.深水网箱养殖水性给料投饲机设计与研究[J].渔业现代化,2024,51(2):39-44.
ZHANG S Z, ZHANG T S, LIU G T, et al. Design and study of water-based feeding machine for deep-sea cage culture [J]. Fishery Modernization, 2024, 51(2) : 39-44.
- [7] BORSTEL F D, SUÁREZ J, DE LA ROSA E, et al. Feeding and water monitoring robot in aquaculture greenhouse[J]. Industrial Robot, 2013, 40(1) : 10-19.
- [8] 陈晓龙,陈军,唐荣,等.对虾船载投饲机的研制[J].上海海洋大学学报,2015, 24(1): 152-160.
CHEN X L, CHEN J, TANG R, et al. Development of boat-borne feeding machine for shrimps [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2015, 24(1) : 152-160.
- [9] 胡庆松,朱皓,李俊.虾蟹养殖池塘机械化研究现状及发展趋势[J].上海海洋大学学报,2022,31(5):1216-1223.
HU Q S, ZHU H, LI J. Research progress and development trend of mechanization of shrimp and crab breeding pond [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(5) : 1216-1223.

Design and experimentation of a mobile autonomous baiting device for shrimp and crab aquaculture

CUI Xiufang, XIA Linbo, AN Nannan, YUAN Xiaocong, XU Xin

(College of Engineering, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to study the application of the distribution law of fishing grounds in shrimp and crab farming, and to solve the problem of over-concentration of feeding in traditional shrimp and crab farming feeding devices, this study completed the mechanical structure and intelligent control system design of the mobile autonomous feeding device through the research of overall structural layout, storage tank, feeding device, garbage collection device, control system and power device, conducted stability and motion feasibility analysis, trial-produced a feeding device prototype and conducted underwater three-dimensional feeding tests. The device can carry 5 kg of bait and feed underwater three-dimensionally through the propulsion device and the Ballast tank. It can simulate the behavior pattern of shrimps in natural waters and optimize the distribution of feed, thereby creating a feeding environment closer to natural ecological conditions. The test results show that the device can feed at 6 different depths underwater, with a feeding speed of 4.9 kg/min, which can meet the needs of intelligent three-dimensional feeding and collect floating garbage generated during the breeding process. The feeding device can feed flexibly and evenly, and can replace manual feeding to reduce labor intensity. At the same time, the intelligent device can be used to record various parameters such as water bodies, shrimps and crabs for research on the distribution of fisheries, assist in the application of fishery distribution laws in aquaculture, and provide new ideas for intelligent and precise farming.

Key words: aquaculture; intelligent feeding device; propulsion device; self-feeding; environmental protection