DOI:10.3969/j.issn.2096-8248.2024.03.003

基于视觉识别的智能浒苔打捞装置设计与试验*

夏小明[a],申　欣[b],缪泉明[a],李智鹏[c],张　键[d],都　鑫[c],周庆贵[c],杨棹迪[e]

(江苏海洋大学 a.海洋工程学院; b.海洋科学与水产学院; c.机械工程学院; d.计算机工程学院;
e.马卡洛夫海洋工程学院,江苏 连云港　222005)

摘　要:针对现有的浒苔打捞装置打捞效率低、自动化程度低等问题,设计了一种基于视觉识别的智能浒苔打捞装置。该装置主要分为硬件系统和软件系统。硬件系统主要由收集带、电动液压推杆、输送带、打包脱水装置组成,结构简单直接随船通用,其中电动液压推杆用于调节收集带的入水深度,以适应不同海况下不同厚度的浒苔打捞需求。软件系统包括搭载在高性能计算机上的上位机和监控系统,其中上位机包含 3 种控制方式且互为备份,提高了系统的鲁棒性,为海上作业提供了安全可靠保证。智能控制单元包含视觉传感器、可编程逻辑控制器(PLC)、遥控控制器以及按键控制组件,通过视觉识别和智能控制技术,实现自主识别、切换工作模式进而打捞浒苔的任务。通过设计制造该装置和海上试验,验证了智能浒苔打捞装置的有效性。

关键词:浒苔打捞装置;智能;视觉识别;图像处理

中图分类号:X55　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:2096-8248(2024)03-0020-06

引用格式:夏小明,申欣,缪泉明,等.基于视觉识别的智能浒苔打捞装置设计与试验[J].江苏海洋大学学报(自然科学版),2024,33(3):20-25.

Design and Experiment of an Intelligent *Enteromorpha prolifera* Salvage Device Based on Visual Recognition

XIA Xiaoming[a], SHEN Xin[b], MIU Quanming[a], LI Zhipeng[c], ZHANG Jian[d],
DU Xin[c], ZHOU Qinggui[c], YANG Zhaodi[e]

(a. School of Ocean Engineering; b. School of Marine Science and Fisheries; c. School of Mechanical Engineering;
d. School of Computer Engineering; e. Makarov College of Marine Engineering,
Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China)

Abstract: A visual recognition based intelligent *Enteromorpha prolifera* salvage device is designed to address the issues of low efficiency and low automation of existing seaweed salvage devices. The device is mainly divided into hardware and software systems. The hardware system mainly consists of a collection belt, an electric hydraulic push rod, a conveyor belt, and a packaging and dehydration device, with a simple structure that can be directly used with ships. In addition, an electric hydraulic push rod has been added to adjust the water depth of the collection belt to meet the fishing needs of different thicknesses of seaweed under different sea conditions. The software system includes an upper computer mounted on a high-performance computer and a monitoring system. The upper computer includes three control modes and is mutually backup, which improves the robustness of the system and ensures safety and reliability for offshore opera-

* **收稿日期**:2023-11-15;**修订日期**:2024-07-26
基金项目:2022 年国际联合实验室项目(2217202202X)
作者简介:夏小明(1996—),男,河南周口人,讲师,博士,研究方向为无人船控制,(E-mail)xiaxiaoming@jou.edu.cn。
通信作者:缪泉明(1965—),男,上海人,研究员,博士,研究方向为船舶与海洋工程设计和研发,(E-mail)qmmiao@jou.edu.cn。

tions. The intelligent control unit includes visual sensors, programmable logic controllers (PLC), remote controllers, and button control components. Through visual recognition and intelligent control technology, it realizes the task of autonomously identifying, switching work modes, and salvaging *Enteromorpha prolifera*. The effectiveness of the intelligent *Enteromorpha prolifera* salvage device has been verified through the design and manufacturing of the device and sea trials.

Key words: salvage device for *Enteromorpha prolifera*; intelligence; visual recognition; image processing

0　引言

近年来,遭受污染的海洋环境、全球变暖等诸多因素引起赤潮、绿潮等自然灾害发生,其中浒苔过度繁殖造成的绿潮灾害数量居多。浒苔为绿藻门石莼科的一属,可食用和药用,具有较强的生长、繁殖和环境适应能力[1-4]。在环境适宜的条件下,可大规模繁殖。大面积高密度浒苔会遮挡海面,降低浮游植物光合作用,进而影响海洋环境的生态平衡,此外浒苔在腐烂过程中还会产生大量的有害气体和化学物质,造成水体缺氧与污染,进而导致海洋生物死亡[5-7],严重影响着沿海城市的旅游业收入和海洋经济的发展。

为降低浒苔带来的生态灾害,我国政府采取了系列措施,包括利用遥感技术对生长初期的浒苔进行实时监测和预警,加强对绿色海洋养殖业规范化引导与监管,强化海洋环境保护法律法规的执行力度等,这些措施都是针对浒苔源头进行治理和防控。然而,在浒苔发生大规模暴发聚集的情况时,仅仅依靠源头管控不能完全阻止其对生态环境的影响,因此实施高效而及时的海上打捞作业就成为应对浒苔灾害不可或缺的环节。浒苔打捞初始时使用小功率渔船,采用人工手抄网打捞方式,打捞浒苔 4 t 约需要 10 h,存在效率低、工人劳动量大等缺点。为克服以上弊端,双翼攻兜网打捞方式被提出。打捞作业时,依赖渔船前进的速度,网袖张口可将浒苔装入其中,使用吊杆将装满浒苔的网袖吊起,人工对收集的浒苔进行打包[8],打捞效率明显提升,得以推广使用。然而,为了便于渔船靠泊,往往仅在其一侧配备攻兜网,降低了打捞效率。此外,在遭遇大面积浒苔时,生长绵密的浒苔极易堵塞网眼[9],致使海水无法顺利流过网袖,无法继续打捞;当攻兜网打捞浒苔过多时,存在重量过大,吊杆无法成功吊起,不得不采用接口网袖和扎口的方法[10-11],放弃已经收集的浒苔;当海上风力 5 级以上时,随海水起伏的网袖无法正常作业:这些缺点严重限制了打捞效率。针对以上缺点,机械化打捞设备相继出现。例如,“海状元”号等浒苔打捞平台,具备高效的打捞效率,宽大的甲板便于处理收集的浒苔。然而,这种浒苔打捞装置随船一起定型,基本上一套打捞装置适配一种船型,存在浒苔打捞装置品种单一,与普通渔船不兼容、不通用的问题,限制了浒苔打捞装置应用;此外船体和配套装置高昂的造价也限制了其应用范围。

近年来,随着视觉识别技术的兴起,其在海洋环境监测、资源管理等方面的应用已取得成效。如利用图像识别技术进行水面垃圾的识别和清理,以及利用视觉技术进行海底资源勘探和地质调查等。但是针对浒苔打捞的应用成果相对较少。因此,亟需设计一种自动化程度较高、能够适配多种渔船的浒苔打捞装置。为此,本文提出一种新型浒苔打捞装置,旨在克服现有装置的缺点,在提高浒苔打捞效率的同时兼顾成本造价。该浒苔打捞装置主要包含:由收集带、输送带、打包装置组成的硬件系统;用于视觉识别的深度相机以及由视频监控设备组成的传感器系统;由按键控制、遥控控制和基于视觉识别的智能控制组成的控制系统,3 种控制方式互为备份,以应对海上恶劣的工作条件。通过海上试验验证了该设备浒苔打捞效率和设计的合理性。与现有装置相比,该装置的创新点如下。

(1) 通用性程度高。装置被设计在船体的两侧,可适用于大多数渔船,结构简单易于安装。

(2) 自主化程度高。装置搭载了基于视觉识别的智能控制系统,可自主地切换工作模式及调整收集带的收放状态。

(3) 打捞效率提高。设计了一种可调整入水深度的收集带,以及可调节张角的收集挡板,解决了因悬浮深度不一致浒苔打捞效果差和在浅海或狭窄水

域作业的问题。

1 智能浒苔打捞装置设计

浒苔打捞装置系统包含收集带、输送带、打包机、控制柜、工控机、视觉传感器、监控探头等设备。如图 1 所示,视觉传感器实时采集水面图像信息,并传输给工控机以获取浒苔的位置信息,控制柜接收工控机的指令进而实现浒苔打捞的控制。其中控制柜包含了智能控制的 PLC 控制组件、遥控控制以及按键控制的控制组件,并负责与电脑应用程序进行通信,执行控制指令。

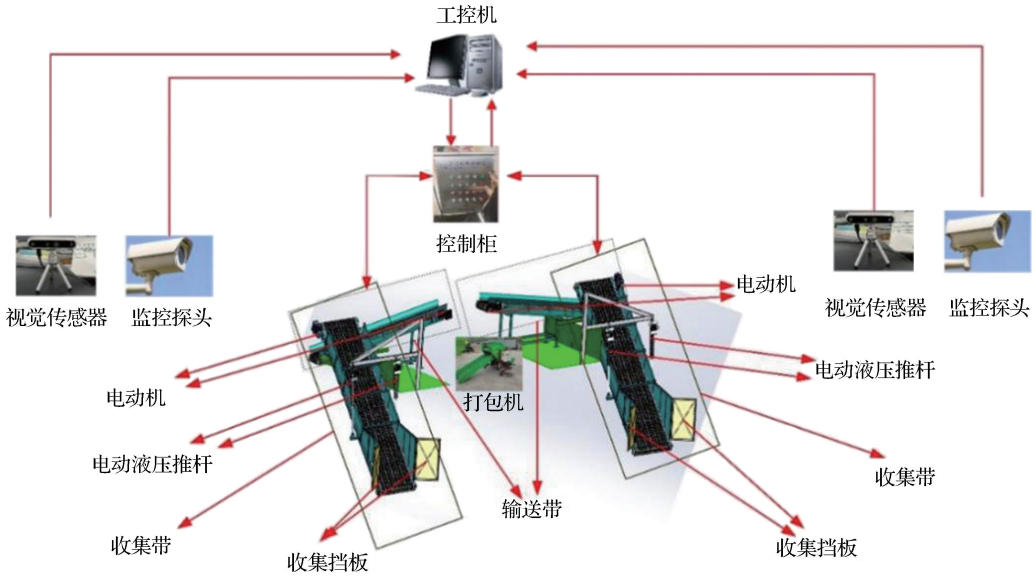
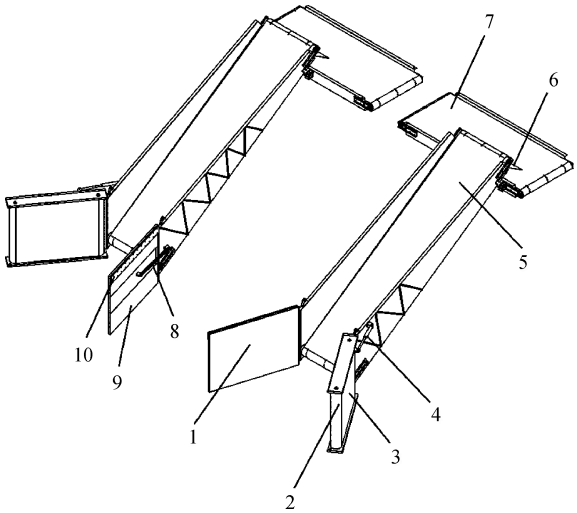


图 1 浒苔打捞装置架构

Fig. 1 Framework of *Enteromorpha prolifera* salvage device

1.1 浒苔打捞装置结构设计

该打捞装置主要由收集臂、收集挡板、收集带和输送带组成,结构如图 2 所示。装置的实施步骤如下:当系统识别到浒苔并传输给工控机后,由工控机对控制系统发出指令,控制收集带入水以及收集挡板张角打开,通过输送带和船舶的运动将浒苔打捞上船,并经传送带输送给挤压脱水装置。此外,该打捞装置在设计时充分考虑了现有机械式浒苔打捞装备的不足,并有针对性地提出了改进方案。首先,为了适用于不同的船型,浒苔打捞装置设计为放置在渔船两侧,结构简单更加方便安装。其次,为了解决因浒苔悬浮深度不同造成的打捞不彻底和触碰问题,装置可利用电动液压推杆来调整收集带倾斜角度,增加其入水深度以提高打捞效果。而在航行状态时自动收起收集带,以降低航行阻力和触底问题;然后,收集挡板可调整张角以实现作业时最大效率地打捞浒苔。最后,考虑海水腐蚀问题,收集挡板等浸入水下的部分选用 304 不锈钢,保证了装置的刚度和强度。



1—柔性自适应收集臂;2—刚性液压驱动收集机;3—收集带;4—液压油缸;5—输送带;6—传送带;7—收集挡板;8—拉簧;9—收集板;10—柔性板。

图 2 打捞装置结构

Fig. 2 Structure of salvage device

1.2 控制系统设计

打捞装置的硬件系统主要由传感器模块和通讯

模块构成。硬件模块图如图 3 所示。

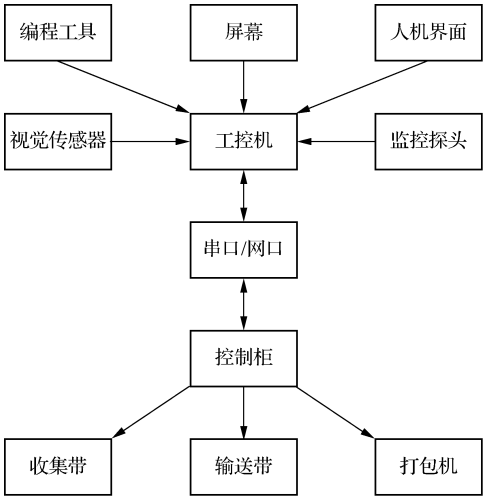


图 3　一体化智能浒苔打捞装置硬件模块图

Fig. 3　Hardware module diagram of integrated intelligent *Enteromorpha prolifera* salvage device

正常航行模式下,在未收到控制指令时电动液压杆收缩,收集装置自主提升至水面以上。在识别到浒苔时,系统自动转到打捞作业模式下,根据预设程序指令进行动作。当出现非预设故障如控制操作无效等情况时,该打捞装置将停止工作并通过无线设备发送故障信号,以便工作人员及时维修。

为实现打捞装置自主地切换工作模式以及获取其运行状态,需要对软件系统进一步设计,具体的软件模块图如图 4 所示。

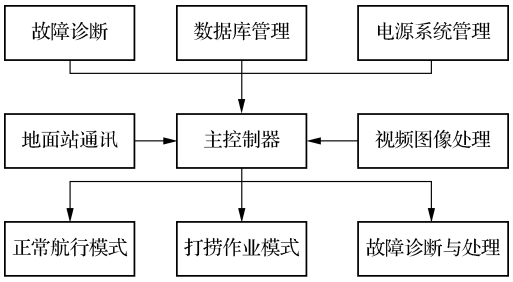


图 4　一体化智能浒苔打捞装置软件模块图

Fig. 4　Software module diagram of integrated intelligent *Enteromorpha prolifera* salvage device

首先,主控制器软件系统对传感器数据实时读取。其次,当识别到浒苔时,主控制器分析浒苔的位置信息和面积厚度,通过多级控制算法对电机进行驱动,以调整收集带的入水深度,实现打捞作业模式。最后,建立主控制器与地面站的网络通讯,传输打捞装置的位置和工作状态等信息,以确保地面人员能够及时地对打捞装置运行状态进行诊断,从而保证装置持续稳定运行。

1.3　视觉识别系统设计

针对现有的浒苔打捞装置智能化程度不足问题,构建视觉识别系统来代替人眼对浒苔进行识别和判断,并根据传统的视觉识别基本流程来设计该系统[12-13],如图 5 所示。具体的步骤如下:首先,浒苔打捞装置通过视觉传感器获取水面图像,并对采集的图像进行滤波和增强预处理,尽可能降低水面波纹、水面强光和反射不均的影响,以提高图中有用信息的提取率。其次,利用图像分割算法将待识别的水面目标分离出来,即将水面图像分为两部分:背景(水面背景区域)和水面目标(漂浮的浒苔)。然后,确定好待识别的目标区域后,提取出能够反映该区域水面浒苔本质的特征,作为区分它们的依据。最后,建立、训练分类模型,使用所提取的特征进行水面目标的分类识别,从而确定哪些目标需要打捞装置打捞上船,哪些目标不能打捞且需要躲避。

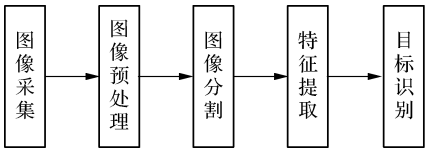


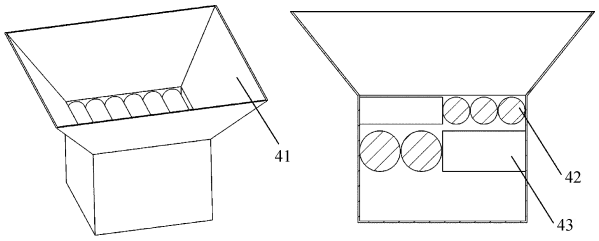
图 5　视觉识别算法基本流程

Fig. 5　Basic process of visual recognition algorithm

1.4　脱水打包设备

现有的浒苔脱水装置采用螺旋或挤压脱水。但因浒苔携带泥沙等杂质,易造成螺旋脱水效果欠佳且工作不稳定,以及大多数的挤压脱水采用一次压缩处理,浒苔含水量依然较高。为此,本文的脱水装置采用二次挤压脱水,并设计了打包装置以节省船舶占用空间,方便后续的作业操作。本文脱水装置主要包括喇叭型收集口、横向挤压轮、纵向挤压轮,结构简单且成本较低,如图 6 所示。具体的实施步骤如下:首先,经过预脱水的浒苔通过传送带运输到脱水打包装置。喇叭型收集口被支撑板安装在脱水装置的外部固定架上,被打捞上船的浒苔经传送带输送掉落到该装置的喇叭型收集口处,在液压缸的作用下利用横向挤压轮挤压后完成第一次脱水[14]。当横向挤压轮下端铺满浒苔时,浒苔经横向挤压轮的挤压作用掉落到纵向挤压轮中,挤压板在液压缸的控制下与纵向挤压轮对浒苔完成二次脱水,二次脱水后的浒苔经脱水机构出

口送出。依此进行反复操作,该步骤使浒苔经过多次脱水,浒苔的含水量相比于同类打捞装置中降到最低,可以解决原来松散浒苔占据打捞船有效空间的问题,同时极大地方便了后续的打包操作。



41—喇叭型收集口;42—横向挤压轮;43—纵向挤压轮。

图 6 浒苔挤压脱水装置

Fig. 6 Crushing and dehydration device for *Enteromorpha prolifera*

2 海上试验

为了验证该装置的合理性并测试其打捞效率,选择加工厂进行生产制造。项目组将本套装置安装在苏连渔 06789 号渔船上,安装效果如图 7 所示。该渔船长 20 m,宽 5 m,主机功率 600 kW,最大航速 20 kn。安装完备后进行海上试验,出海地点选在江苏省盐城市滨海港东约 30 n mile。在海试中主要测量浒苔打捞船的船体速度(m/s)、消耗燃油(h/L)、单位时间内打捞上浒苔的质量,以及各设备运行情况。



图 7 安装效果

Fig. 7 General assembly

为保证测试精度及方便试验状态调整,浒苔打捞装置试验选择海域为监控系统识别 50%以上的浒苔覆盖率的环境。试验船的船速 0.1～1 m/s,水深约 50 m。试验方法采用控制变量法,在预设海域启动收集和输送装置,在规定系列速度或燃油消耗情况下,测定浒苔打捞装置的打捞效率,从而确定最大打捞效率下的最佳航速。图 8 展示了海上试验和上位机自主控制的参数效果。

根据所测得的数据,计算出针对搭载浒苔打捞装置目标船的不同航速、不同入水深度,以获得该装置在不同航速工况下打包效率的试验结果。具体试验方案结果如表 1 所示。

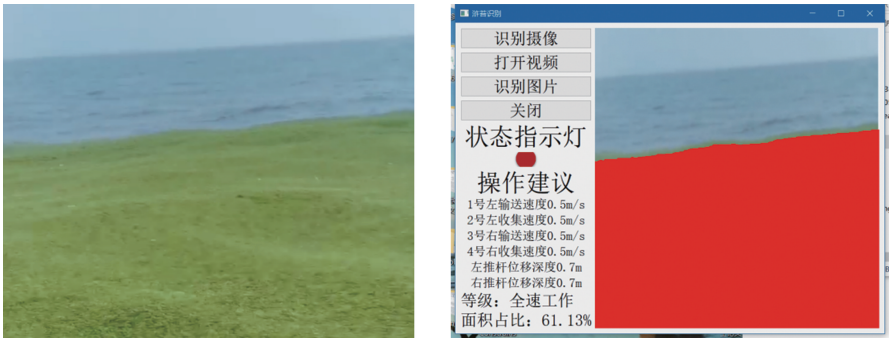


图 8 海上试验(左)和上位机自主控制效果(右)

Fig. 8 Marine test (left figure) and effect diagram of upper computer autonomous control (right figure)

表 1 打捞效率试验方案结果

Table 1 Test result plan of salvage efficiency

序号	船舶吃水 T_F(T_A)/m	收集带入水垂直深度 H_s/cm	船舶航速/kn	总燃油消耗(发电机组)/(L·h^{-1})	测试参数:打包效率(脱水后)/(kg·min^{-1})	性价比(打包效率/燃油消耗)/(kg·L^{-1})
1			1.0		50	50/9
2			2.0		60	60/9
3	2.2(2.2)	30	3.0	9	90	90/9
4			4.5		100	100/9
5			6.0		100	100/9

通过对浒苔打捞装置进行海上试验,验证本文所设计的浒苔打捞装置在原理及结构上满足所需要求,各装置能够正常运转,且能够迅速、高效地识别浒苔,进而对其进行打捞、脱水、打包的一体化处理。该装置具有较高的可靠性和安全性,处理浒苔效率高,具体打捞效果见图 9。综上,该装置能够在实际浒苔处理中广泛使用。本文在实验过程中发现,当浒苔打捞量过大时,现有的脱水打包装置存在超负荷现象,无法及时处理打捞上船的浒苔,故而在特定工况下不得不暂停打包流程以避免影响浒苔的堆放。试验数据显示,在不同航速下,打捞效率随着航速增加而显著提升,打包效率未能完全匹配打捞效率,而将船舶航速保持在 3 kn 左右时,可以解决打捞装置与打包装置效率不匹配问题。虽然在试验过程中出现过打包装置超负荷运转,但是通过表 1 依然可以看出,智能浒苔打捞装置相较于传统方法在打捞效率上的显著优势。



图 9　浒苔打捞效果展示

Fig. 9　Display of the salvage effect of *Enteromorpha prolifera*

3　结论

本文介绍了基于视觉识别的智能浒苔打捞装置设计过程,阐述了整体架构和设计理念,并通过生产和制造装船进行海上试验。与现有的浒苔打捞装置相比,该装置相比于文献[9]所提出的浒苔打捞装置,具有结构简单易于安装、可随船通用的特点,并且打捞效率提升 7 倍左右,每 h 可打捞浒苔约 60 t;相较于文献[10]所提出的浒苔打捞装置,具有自动化程度更高、打捞效果更好的特点。此外,该装置在软硬件上预留了接口,以方便进行后续的二次开发。在实船验证过程中,面对暴发面积较大的浒苔区域时存在脱水打包装置效率低、难以适配浒苔打捞装置效率的问题,后续工作将设计打包效率更高的打包装置。

参考文献:

[1] 吴孟泉,郭浩,张安定,等. 2008 年—2012 年山东半岛海域浒苔时空分布特征研究[J]. 光谱学与光谱分析,2014,34(5):1312-1318.

[2] 邱小明,郭欣,黄聪亮. 浒苔多酚对 2 型糖尿病小鼠降血糖功效研究[J]. 食品工业科技,2024,45(1):318-324.

[3] 韩文冰,明凯利,马跃,等. 几种海滨植物作为产乙醇生物质原料的可能性研究[J]. 安徽农业科学,2019,47(5):77-79.

[4] 梁晓红,韩雪. 南黄海绿潮和金潮灾害的异同性分析及研究方向探讨[J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版),2021,30(1):35-39.

[5] LIN Peng, SHEN Songdong, WANG Jianwei, et al. Reproduction diversity of *Enteromorpha prolifera*[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2008, 50(5): 622-629.

[6] BLOMSTER J, BACK S, FEWER D P. Novel morphology in *Enteromorpha* (*Ulvophyceae*) forming green tides[J]. American Journal of Botany, 2002, 89(11): 1756-1763.

[7] PEGGY F, JON J F, CAITLIN R F. Growth, nutrient storage, and release of dissolved organic nitrogen by *Enteromorpha* intestinalis in response to pulses of nitrogen and phosphorus[J]. Aquatic Botany, 2004, 78(1): 83-95.

[8] 姜紫彬. 随船浒苔打捞、脱水、打包一体化装备关键技术研究[D]. 济南:济南大学,2017.

[9] 李娇,关长涛,徐希尧,等. 射流式浒苔打捞机的设计与试验[J]. 渔业现代化,2009,36(1):35-37.

[10] 江涛,徐皓,谌志新. 浒苔打捞脱水工艺及关键设备[J]. 渔业现代化,2009,36(1):38-41.

[11] 栾光旭. 多功能浒苔打捞一体化装置设计及研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2023.

[12] 刘思洋. 水面垃圾清理机器人电控系统及目标识别算法的研究[D]. 西安:陕西科技大学,2019.

[13] 陆定邦. 水面垃圾清理机器人的视觉算法研究[D]. 桂林:桂林理工大学,2023.

[14] 侯贺启,张庆力,连军帅,等. 浒苔螺旋压缩固液分离的研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2018,48(S1):185-191.

(责任编辑:褚金红　实习编辑:易圣杰)