

水下海产品捕捞机器人系统技术要求

Technical requirements for underwater seafood harvesting robots

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2022.11.10）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 概述 1

5 水下机器人系统技术规范 2

 5.1 概述 2

 5.2 动力系统 2

 5.3 海产品抓取系统 2

 5.4 供电系统 3

 5.5 水下定位系统 3

 5.6 性能要求 3

 5.7 非功能性要求 3

6 地面控制系统技术规范 4

 6.1 概述 4

 6.2 数据传输系统 5

 6.3 水下机器人状态监控系统 5

 6.4 遥控操作系统 5

 6.5 性能要求 5

 6.6 非功能性要求 5

参考文献 7

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由辽宁省工业和信息化厅提出并归口。

本文件起草单位：大连海事大学、大连海发智能装备有限公司、大连理工大学、荣科科技股份有限公司、国家计算机网络与信息安全管理中心辽宁分中心、大连红旗自由软件有限公司、大连软件行业协会、獐子岛集团、大连獐子岛海洋发展集团。

本文件主要起草人：付先平、王辉兵、袁国良、段刚、谭跃、王洁、樊鑫、张文远、尹宏、刘斌、冯艳爽、李明、刘安良、张吉庆、张田同、姚铭泽、王玉琳、林鹏、高天铸、李园园、陈鸿铭、李海清。

本文件发布实施后，任何单位和个人如有问题和意见建议，均可以通过来电和来函等方式进行反馈，我们将及时答复并认真处理，根据实际情况依法进行评估及复审。

本文件归口单位通讯地址：沈阳市北陵大街45-2号，联系电话：024-86913384

本文件起草单位通讯地址：大连市甘井子区凌海路1号，联系电话：0411-84724507

水下海产品捕捞机器人系统技术要求

1 范围

本文件规定了水下海产品捕捞机器人定义、基本功能、动力系统、供电系统、安全性、可靠性及相关标准规范。

本文件适用于水下海产品捕捞作业，水下作业深度不超过300米的水下机器人设计、控制、安全等。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 11291.1-2011 工业环境用机器人 安全要求 第1部分：机器人
- GB/T 32065.15-2019 海洋仪器环境试验方法 第15部分：水压试验
- GB/T 32065.10-2020 海洋仪器环境试验方法 第10部分：盐雾试验
- GB/T 36896.1-2018 轻型有缆遥控水下机器人 第1部分：总则
- GB/T 36896.3-2018 轻型有缆遥控水下机器人 第3部分：导管螺旋桨推进器

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水下海产品捕捞机器人 underwater seafood harvesting robot

未通过零浮力电缆进行信号与电源传输，通过地面控制单元进行进退、潜浮、平移、滚转、俯仰、偏航等水下灵活运动，控制捕捞机械手相关装置在水下进行海产品人工或自主捕捞的潜水器。

3.2

零浮力电缆 zero buoyancy cable

为水下机器人提供数据传输、供电及环境载荷的电缆及附属装置组合体

3.3

捕捞机械手 fishing robotic arm

利用电机驱动在水下进行捕捞海产品作业的机械手装置。

4 概述

本文件对水下海产品捕捞机器人进行技术规范，以满足水下海产品捕捞需求为核心，系统整体由水下机器人系统和地面控制系统两部分构成，二者通过零浮力电缆实现数据和控制信号的双向传输，协同完成水下海产品的人工或自主捕捞作业。整体系统结构及要求如下：

- a) 水下机器人系统为执行端，搭载动力、抓取、感知等核心组件，负责水下灵活运动、海产品捕捞、环境信息采集及执行地面控制系统指令；

- b) 地面控制系统为控制端，承担指令发送、状态监控、数据处理及人机交互功能，通过零浮力电缆实现对水下机器人系统的远程操控与信息交互；
- c) 整体系统需满足水下作业深度不低于 100 米的环境适应性，具备稳定的信号传输能力、精准的运动控制能力及可靠的捕捞作业能力，同时符合本文件规定的安全性、可靠性及可扩展性要求。

5 水下机器人系统技术规范

5.1 概述

本文件对水下机器人基础性能进行技术规范，水下机器人系统作为水下作业的核心执行单元，其结构由多个功能子系统协同构成，包括动力系统、海产品抓取系统、供电系统、水下定位系统，各子系统通过内部总线及结构框架集成，其需满足水下海产品捕捞机器人的运动控制、定位导航及捕捞作业等功能要求，子系统整体要求如下：

- a) 各子系统需满足水下高压、高盐雾环境的适应性，具备密封、耐压、抗腐蚀性能；
- b) 子系统间需实现数据交互与协同控制，确保运动指令、捕捞操作、能源状态等信息的实时传递与响应；
- c) 系统整体需具备水下灵活运动能力、高清图像采集与传输能力、精准捕捞操作能力，及与地面控制系统的稳定通信能力。

本文件将水下机器人系统进行拆分，根据其功能架构，从动力系统、海产品抓取系统、供电系统以及水下定位系统进行技术规范，同时，本文件对水下机器人系统的性能要求进行技术规范。此外，本文件对水下机器人系统的非功能性要求进行技术规范，包括水下机器人系统的安全性、可靠性以及可扩展性。

5.2 动力系统

5.2.1 动力结构

水下海产品捕捞机器人动力结构由水下推进器构成，其包含电机、控制器、导管螺旋桨和水下压力补偿，通过电机驱动，具有水下高推力，可实现固定方向的精准移动，导管螺旋桨应符合GB/T 32065.10中对应标准。

5.2.2 性能需求

水下海产品捕捞机器人应至少安装6个推进器构成机器人动力系统，其最大前进静水速度应不小于2kn，后退速度不小于1kn，垂向速度应不小于0.5kn。

5.2.3 负载能力

为实现水下海产品捕捞，机器人的动力系统应满足最低负载重量不小于20kg（水中）。

5.3 海产品抓取系统

5.3.1 软件要求

海产品抓取系统软件要求如下：

- a) 海产品抓取软件系统应由通用编译语言进行编程，代码语言应简洁精炼、易于理解，便于调试和修改；

- b) 海产品抓取软件系统应内置水下目标检测算法，能对机器人采集的水下图像或视频进行实时自主识别并定位海参、海星、扇贝等海产品，识别与定位误差率应不大于 20%；
- c) 海产品抓取软件系统应能实时接收地面控制系统控制信号，响应时间应少于 20ms，并完成人工协同或自主捕捞等相关操作。

5.3.2 硬件要求

海产品抓取系统硬件包括捕捞机械手、海产品存放框和控制电机，具体要求如下：

- a) 捕捞机械手可由夹爪式结构或绳驱动结构构成，其尺寸应适用于海参、海星、扇贝等海产品；
- b) 海产品存放框应设计在水下机器人内部，最少称重海产品重量为 10kg。

5.4 供电系统

水下海产品捕捞机器人供电系统由两种方式，分别为岸基供电和内置电源，具体要求如下：

- a) 岸基供电应满足水下捕捞机器人运动最大功率，即持续输出功率不小于 2kw；
- b) 内置电源输出为直流电，其持续输出功率不小于 2kw，同时内置电源充电持续输入功率不低于 40W。

5.5 水下定位系统

水下海产品捕捞机器人应搭载水下定位系统，明确机器人在水下相对位置。其要求如下：

- a) 水下定位系统应具备超短基线定位功能，实现对水下机器人在开放式水域的相对定位；
- b) 超短基线定位设备应支持水下定位最大深度不低于 100m，最远距离不低于 300m。偏航角不超过 0.1 度，信号更新速率不低于 2HZ。

5.6 性能要求

水下机器人系统应具备水下海产品捕捞的能力，其性能要求如下：

- a) 水下机器人应能通过零浮力电缆与地面控制单元建立信号传输；机器人本体应能在水中实现上浮下潜、进退、转艏、滚转、俯仰、偏航等水下灵活运动，能够实现定深、定航动作；
- b) 水下机器人通过地面控制系统应能完成进退、潜浮、平移、转向等运动，指令和动作应协调一致；
- c) 水下机器人应搭载不少于一个水下高清摄像头进行清晰图像的采集，并不少于一个水下照明灯，实现水下录制高清视频、获取图像的功能；
- d) 捕捞机械手通过地面遥控操作系统应能控制完成海产品人工或自主捕捞等相关动作；
- e) 摄像系统应密封、耐压，镜头应具有俯仰自由调整的能力。

5.7 非功能性要求

5.7.1 安全性要求

水下海产品捕捞机器人设备安全性应满足如下要求：

- a) 水下机器人、水面控制单元、手持式操纵盒以及动力源都应接地并有明显接地标识。不能明显表明的接地点，应在其附近标明明显的接地标识。水面控制系统阻值不得超过 0.1，水下机器人电控系统阻值不得超过 1Ω；
- b) 水下控制舱的电路与壳体之间的冷态绝缘电阻应不小于 20MΩ，热态绝缘阻值应不小于 1MΩ。同时，水下控制舱应密封良好，内应设有漏水检测单元；

- c) 成套设备中,所有紧固件,连接件,应装配牢固、严密;所有相对转动,相对滑动部位应灵活可靠;
- d) 水下海产品捕捞机器人主体材料应光洁、耐腐蚀,不应有起皮、脱落等缺陷;本体应满足耐压、防水、绝缘、静态平衡、动态平衡等运动控制要求;
- e) 零浮力电缆外观应完好、顺直,无损伤、扭结、破损或污染,并满足在水中零浮力;实验前应按要求对其信号和电源传输性进行检查;
- f) 水下海产品捕捞机器人应设有急停和保护性停止的功能,同时,任何部件的单独故障不应导致安全功能的丧失。

5.7.2 可靠性要求

水下海产品捕捞机器人应满足如下环境适应性要求:

- a) 水下海产品捕捞机器人在低温-10℃, 高温 40℃的环境中,应能正常工作;
- b) 水下海产品捕捞机器人的成套设备、浮力材料、所有紧固件、连接件,应能在水下 100 米内的压力条件下不产生残余形变,按照规定 GB/T 32065.15 规定的方法进行试验,试验结束后应能正常工作;
- c) 在浓度为 4.9%~5.1%, pH 值 6.5~7.2(35℃)盐雾条件下,安装电子元器件的金属舱表面以及水下海产品捕捞机器人的本体结构不出现明显腐蚀现象,按照规定 GB/T 32065.10 进行盐雾实验,设备应工作正常;
- d) 水下机器人在电压波动不小于±15%, 频率波动不小于±10%, 零线电压波动不小于±10%各自的范围内运行,工作应正常;
- e) 水下机器人搭载光学设备应满足在不同照度条件下,水下高清摄像头可观察目标对象,并能清晰成像。水下机器人搭载声学设备应满足在低能见度、浑浊水体环境下的捕捞。

5.7.3 可扩展性要求

水下海产品捕捞机器人本体结构应通过模块化功能配置具有开放性,便于随时拆卸、更换、添加不同功能配件,搭载多种传感设备。

6 地面控制系统技术规范

6.1 概述

地面控制系统作为远程操控与信息处理的核心单元,其结构由多个功能子系统构成,包括数据传输系统、水下机器人状态监控系统、遥控操作系统,各子系统通过软硬件集成,实现对水下机器人系统的远程控制、状态监测及数据处理,子系统整体要求如下:

- a) 各子系统需具备稳定的信号处理能力,确保与水下机器人系统的实时数据交互(延迟符合规定要求);
- b) 子系统间需实现指令与状态信息的无缝衔接,如遥控操作系统的指令需通过数据传输系统实时下发,状态监控系统需同步接收并显示水下机器人的反馈信息;
- c) 系统整体需具备友好的人机交互界面、精准的指令控制能力及全面的状态监测能力,确保操作人员可高效完成水下捕捞作业的远程操控。

同时,本文件将地面控制系统进行拆分,根据其功能架构,从数据传输系统、水下机器人状态监控系统以及遥控操作系统三方面进行技术规范,同时,本文件对地面控制系统的性能要求进行技术规范。

此外，本文件对地面控制系统的非功能性要求进行技术规范，包括地面控制系统的安全性、可靠性以及可扩展性。

6.2 数据传输系统

地面控制系统与水下捕捞机器人间数据传输可采用正交频分复用等相关通信技术，其通过电力载波通信可分为岸端网络信号控和水下电力信号，实现便携、快捷的地面控制系统和水下捕捞机器人间的数据传输。

6.3 水下机器人状态监控系统

状态监控系统中应满足如下对机器人状态监控要求：

- a) 状态监控系统通过机器人搭载摄像、定位等传感设备应实时显示机器人运动速率、所处位置（当前深度、卫星定位坐标）及水下周围环境情况（如水深、水温等环境信息）等基本信息；
- b) 状态监控系统应能够实时采集各个传感器的信息，并时刻检测舱内温湿度及漏水情况；
- c) 状态监控系统通过零浮力电缆对水下海产品捕捞机器人的动力系统进行状态控制。

6.4 遥控操作系统

地面控制系统中配置遥控操作系统对水下机器人的运动和捕捞作业进行精准控制，控制精度等级应与GB/T 36896.1中匹配，延迟不超过30ms。

6.5 性能要求

本文件对地面控制系统的性能进行技术规范，地面控制系统的性能要求如下：

- a) 地面控制系统应能通过零浮力电缆完成与水下捕捞机器人的信号和电源传输，实现水下环境实时监控和机器人状态监控及供电；
- b) 地面控制系统应具有在监控器上同步显示水下海产品捕捞机器人状态的功能，并应可以进行数据处理；
- c) 地面控制系统通过遥控操作系统控制机器人本体在水下实现捕捞作业和姿态控制，指令和动作应协调一致。

6.6 非功能性要求

6.6.1 安全性要求

地面控制系统部分的安全应符合GB 11291.1中作业要求和保护措施的相关规定。

6.6.2 可靠性要求

地面控制系统应满足如下环境适应性要求：

- a) 地面控制系统在低温-10℃，高温 40℃的环境中，应能正常工作；
- b) 地面控制系统的成套设备、所有紧固件、连接件，应能在标准气压的压力条件下不产生残余形变，试验结束后应能正常工作；
- c) 地面控制系统各电子部件的射频电磁场辐射抗扰度和发射应符合最小抗扰度和发射要求，试验中应能正常工作；
- d) 地面控制系统在电压波动不小于±15%，频率波动不小于±10%，零线电压波动不小于±10%各自的范围内运行，工作应正常。

6.6.3 可扩展性要求

地面控制系统通过软件编译和硬件设施结合应能随时增加、删除、修改操控水下机器人的功能。

参 考 文 献

- [1]GB/T 10250-2007 船舶电气与电子设备的电磁兼容性
 - [2]GB/T 32065.8-2020 海洋仪器环境试验方法 第8部分：温度变化试验
 - [3]GB/T 44594-2024 水下助推机器人通用技术要求
 - [4]DB2102/T 0129—2024 海产品捕捞潜水 现场作业管理要求
-