



# 团 体 标 准

T/CAOE 82.1—2025

## 作业型有缆遥控水下机器人 第 1 部分：总则

Work-class remotely operated vehicles—  
Part 1: General provisions

2025-03-24 发布

2025-03-24 实施

中国海洋工程咨询协会 发 布  
中国标准出版社 出 版



## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 分类和组成 .....	2
4.1 分类 .....	2
4.2 组成 .....	3
5 要求 .....	3
5.1 外观和结构 .....	3
5.2 功能 .....	3
5.3 性能 .....	4
5.4 安全 .....	6
5.5 环境适应性 .....	6
5.6 电磁兼容 .....	7
5.7 电源适应性 .....	7
6 试验方法 .....	7
6.1 外观和结构 .....	7
6.2 功能 .....	7
6.3 性能 .....	9
6.4 安全 .....	10
6.5 环境适应性 .....	10
6.6 电磁兼容 .....	11
6.7 电源适应性 .....	11
7 检验规则 .....	11
7.1 出厂检验 .....	11
7.2 型式检验 .....	12
8 标志和随机文件 .....	12
8.1 标志 .....	12
8.2 随机文件 .....	13
9 包装、运输和贮存 .....	13
9.1 包装 .....	13

T/CAOE 82.1—2025

9.2 运输 .....	13
9.3 贮存 .....	13
参考文献 .....	14

## 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。

本文件为 T/CAOE 82《作业型有缆遥控水下机器人》的第 1 部分。T/CAOE 82 已经发布了以下部分：

——第 1 部分：总则。

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。

本文件由中国海洋工程咨询协会提出并归口。

本文件起草单位：青岛海检集团有限公司、中国海洋工程研究院（青岛）、山东未来机器人有限公司、青岛森科特智能仪器有限公司、中海辉固地学服务（深圳）有限公司、山东交通学院、深之蓝海洋科技股份有限公司、青岛罗博飞海洋技术有限公司、中海油深圳海洋工程技术服务有限公司、青岛检测认证集团有限公司、青岛海洋工程水下设备检测有限公司、清华大学、中国石油大学（华东）、哈尔滨工业大学（威海）、青岛海洋地质研究所、中国船级社海洋工程技术中心、中国海洋工程装备技术发展有限公司、清华四川能源互联网研究院。

本文件主要起草人：张宁、张建民、刘晓、陈永灿、陶泽文、于敬东、邹建文、张强、王灏、管勇鑫、赵阳、郭岳山、马秀芬、韩超、吴俊杰、张清山、李佳龙、张玉潇、杜阳、潘德位、张红岩、孙华磊、王皓冉、孙振文、徐昊、孙宝江、高永海、于昌利、孙治雷、周晓明、康永田、王宇、胡作琛、江文亮、蒋书辉、胡宴才、乔建磊、朱家村、石鹏、李永龙、桑跃鸣、蒲实、刘文超。

## 引 言

有缆遥控水下机器人按照任务性质不同分为观测型和作业型。其中作业型有缆遥控水下机器人指通过水面动力站由脐带缆进行信号和电力传输、通过水面监控站进行实时监控、可利用自身结构部件或配属的作业工具在水下执行指定作业任务的遥控无人潜水器。针对该类水下机器人水下复杂作业的使用需求,为规范其功能性、安全性和可靠性,促进其在海洋资源开发、科学考察等领域的应用,特制定 T/CAOE 82《作业型有缆遥控水下机器人》。T/CAOE 82 拟由七个部分构成。

- 第 1 部分:总则。目的在于规定作业型有缆遥控水下机器人的总体技术要求和基本原则。
- 第 2 部分:推进器与液压系统。目的在于规定作业型有缆遥控水下机器人推进器与液压系统的技术要求,以保障水下作业过程中的机动性及动力稳定性。
- 第 3 部分:电力与控制系统。目的在于规定作业型有缆遥控水下机器人电力与控制系统设计标准和控制响应要求,以保障水下作业过程中的电力供应及作业安全。
- 第 4 部分:通信系统与电子接口。目的在于规定作业型有缆遥控水下机器人通信系统与电子接口的通信要求和接口标准,以保障水下信息采集、数据传输、可扩展性等功能的实现。
- 第 5 部分:水下机械手与作业工具。目的在于指导与作业型有缆遥控水下机器人作业任务匹配的水下机械手与作业工具的设计、制造、检验、包装和运输,以保障水下特定作业功能的实现。
- 第 6 部分:现场作业通用技术要求。目的在于为作业型有缆遥控水下机器人的水下作业确定可操作、可遵照的基础操作程序和应急处置规范。
- 第 7 部分:维护保养通用技术要求。目的在于明确作业型有缆遥控水下机器人维护保养的项目、周期、程序等,以指导制造商、使用方等相关方对作业型有缆遥控水下机器人进行维护保养操作。

# 作业型有缆遥控水下机器人

## 第1部分：总则

### 1 范围

本文件规定了作业型有缆遥控水下机器人的分类和组成,要求,试验方法,检验规则,标志和随机文件,包装、运输和贮存。

本文件适用于在江河湖海和人工水环境下利用工具执行一种或多种水下作业任务的作业型有缆遥控水下机器人的设计、生产、采购、检验、包装和运输,执行水下观测任务的有缆遥控水下机器人也可参照执行。

注:常见的作业任务包括敷设、安装、巡检、采样、焊接、切割、打捞、清洗、清淤等。

### 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/T 156 标准电压
- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB/T 3766 液压传动 系统及其元件的通用规则和安全要求
- GB/T 5048 防潮包装
- GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用技术条件
- GB/T 7251.1—2023 低压成套开关设备和控制设备 第1部分:总则
- GB/T 7251.8—2020 低压成套开关设备和控制设备 第8部分:智能型成套设备通用技术要求
- GB/T 10250 船舶电气与电子设备的电磁兼容性
- GB 11291.1 工业环境用机器人 安全要求 第1部分:机器人
- GB/T 12325 电能质量 供电电压偏差
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 17478 低压直流电源设备的性能特性
- GB/T 32065.2 海洋仪器环境试验方法 第2部分:低温试验
- GB/T 32065.4 海洋仪器环境试验方法 第4部分:高温试验
- GB/T 32065.10 海洋仪器环境试验方法 第10部分:盐雾试验
- GB/T 32065.14 海洋仪器环境试验方法 第14部分:振动试验
- GB/T 32065.15 海洋仪器环境试验方法 第15部分:水压试验
- GB/T 36896.1—2018 轻型有缆遥控水下机器人 第1部分:总则
- GB/T 36896.4 轻型有缆遥控水下机器人 第4部分:摄像、照明与云台
- GB/T 43849 水下机器人整机及零部件基本环境试验方法 水静压力试验方法

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**作业型有缆遥控水下机器人 work-class remotely operated vehicle**

通过水面动力站由脐带缆进行信号和电力传输,通过水面监控站进行实时监控,可利用自身结构部件或配属的作业工具在水下执行指定作业任务的遥控无人潜水器。

[来源:GB/T 36896.1—2018,3.3,有修改]

#### 3.2

**水下作业 underwater operation**

利用水下平台及配属的作业工具进行的特定作业活动。

#### 3.3

**脐带缆 umbilical**

电缆、光缆、软管、金属管群,既可以单独又可相互组合在一起成缆,具有柔性,并用外护套和/或铠装提高机械强度。

[来源:GB/T 21412.5—2017,3.1.47]

#### 3.4

**水下机械手 manipulator**

通常由机械手框架、伺服系统、传感器、控制器等装置组成,能够支持水下机器人抓取、移动、旋转等作业的工具。

#### 3.5

**中继器 tether management system**

用于储存和收放脐带缆的装置。

### 4 分类和组成

#### 4.1 分类

##### 4.1.1 按照动力驱动分类

按照驱动动力源的不同可分为:

- a) 液压驱动作业型有缆遥控水下机器人;
- b) 电驱动作业型有缆遥控水下机器人;
- c) 液电混合驱动作业型有缆遥控水下机器人;
- d) 其他动力(潮汐能、波浪能等)驱动作业型有缆遥控水下机器人。

##### 4.1.2 按照运动方式分类

按照运动方式的不同可分为:

- a) 以履带方式行进的作业型有缆遥控水下机器人;
- b) 以推进器推进方式行进的作业型有缆遥控水下机器人;
- c) 以外力拖拽滑行方式行进的作业型有缆遥控水下机器人;
- d) 以其他方式行进的作业型有缆遥控水下机器人。

### 4.1.3 按照作业深度分类

按照作业深度的不同可分为：

- a) 浅水作业型有缆遥控水下机器人：作业水深 300 m 及以浅；
- b) 深水作业型有缆遥控水下机器人：作业水深大于 300 m 且小于 1 500 m；
- c) 超深水作业型有缆遥控水下机器人：作业水深 1 500 m 及以深。

### 4.1.4 按照作业功率分类

按照作业功率的不同可分为：

- a) 100 Hp 以下的轻型作业型有缆遥控水下机器人；
- b) 100 Hp~150 Hp 的中型作业型有缆遥控水下机器人；
- c) 150 Hp 以上的重型作业型有缆遥控水下机器人。

注：Hp 为功率单位，1 Hp=745.70 W。

## 4.2 组成

作业型有缆遥控水下机器人主要由水面部分、脐带缆和水下部分组成：

- a) 水面部分由水面控制单元、水面电力分布单元、水面动力站和布放回收系统等组成；
- b) 水下部分由水下机器人本体、中继器等组成，水下机器人本体包括主体框架、浮力构件、电子舱、传感器、控制系统、电力系统、液压系统、导航系统、通信系统、推进器、水下机械手、照明及摄像系统、云台、声呐、行进装置、作业工具等；传感器包括陀螺仪、深度计、加速度计、压力传感器、温湿度传感器、载荷传感器、倾斜仪等；作业工具包括水下液压扳手、水下切割机、水下焊接机、采集篮筐、清洁刷或清洁机、水下吸泵及吸管、磁钢等。

## 5 要求

### 5.1 外观和结构

要求如下：

- a) 漆皮表面应光洁，不应有漏漆、起皮、脱落等缺陷，镀件、阳极氧化件等表面处理件应无露底现象；
- b) 采用醒目的颜色多色涂装，文字、符号和标识应清晰、端正；
- c) 水下机器人本体应布局合理、操作方便、便于维修，外形、尺寸、重量、结构强度满足设计要求；
- d) 成套部件中，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。

### 5.2 功能

#### 5.2.1 控制和操作

要求如下：

- a) 作业型有缆遥控水下机器人应在规定时间内，完成前进、后退、上浮、下潜、旋转、横推、速度切换等动作，执行和指令协调一致，控制精度等级应符合 GB/T 36896.1—2018 中 5.3.4 规定的范围；
- b) 通过操控水下机械手及搭载的作业工具，水下机器人应按照任务指令，正确、低延迟地完成动作，无卡顿、误动作等现象，操作人员应具备操作作业型有缆遥控水下机器人的能力，熟悉布放回收、导航跟踪、近距离目标观察、水下机械手运动控制、故障处理、带电操作等必要的作业型有缆遥控水下机器人基础理论知识和操作步骤；

- c) 水下机械手应自由灵活、密封良好,能根据指令完成相应动作,宜搭配多功能水下机械手,工作时的最大伸长距离、活动覆盖范围、全伸长后可夹持的最大重量、前端最大张开距离等应满足设计要求;
- d) 带有计算机系统的智能型控制装置应符合 GB/T 7251.8—2020 中 8.2、8.4 和 8.5 的规定;
- e) 控制装置的电磁兼容性应符合 GB/T 7251.1—2023 中 9.4 的规定。

### 5.2.2 信息采集和数据传输

作业型有缆遥控水下机器人在水下作业过程中,应利用配备的传感器采集到规定的数据,通过脐带缆与水面控制单元建立通信,将数据传输回水面控制单元,实现水下机器人水下姿态、运行状态以及周围环境等实时监控,信息传输速率应不小于 50 Mbps,通信平均误码率应不大于  $10^{-10}$ ,配备的显示屏的屏幕尺寸、分辨率应满足设计要求。

### 5.2.3 定位和导航

作业型有缆遥控水下机器人应具备水下定位和水下导航功能;对于路径轨迹要求较高的水下机器人,应精准定位,并实时调整、跟踪控制轨迹,保证在水下的位置、速度等在允许范围内。

### 5.2.4 视觉和图像处理

作业型有缆遥控水下机器人应具备实时获取、处理水下环境图像信息的功能,处理后的图像应清晰、细腻,照明及摄像系统、云台应符合 GB/T 36896.4 的规定。

### 5.2.5 安全应急

面临故障或失联等突发情况时:

- a) 紧急停机:操作者应通过水面控制单元激活紧急停机按钮,立即停止水下机器人所有动作;
- b) 故障诊断:水下机器人应具有自我诊断功能,实时监控工作状态、检测问题故障并报告;
- c) 平衡控制:水下机器人应具有可调节的浮力或推力控制功能,失去动力或其他紧急情况时可保持稳定;
- d) 通信失效保护:在通信链路丢失的情况下,水下机器人应执行安全操作,如悬停、缓慢上升或返回等。

### 5.2.6 可扩展性

作业型有缆遥控水下机器人宜具备可扩展性:

- a) 扩展接口由供电模块和通信模块组成,其中供电模块电源包括 DC12 V、DC24 V、AC220 V 等,通信模块通信方式包括 RS485、RS422、RS232、以太网等;
- b) 扩展接口的安装位置和通信协议应满足待扩展仪器的使用要求;
- c) 扩展方式采用耐工作水压的水密连接器进行连接。

## 5.3 性能

### 5.3.1 最大静水速度

要求按一定行进速度完成作业任务的作业型有缆遥控水下机器人最大前进速度应不小于 2 kn,最大后退速度应不小于 2 kn,最大垂向速度应不小于 0.5 kn。

### 5.3.2 转弯直径

要求转弯的作业型有缆遥控水下机器人在静水条件下,最小转弯直径应不大于本身长度的 1.5 倍。

### 5.3.3 负载

要求负载的作业型有缆遥控水下机器人应满足 GB/T 36896.1—2018 的 5.3.3 规定的负载能力范围。

### 5.3.4 行进

要求如下。

- a) 以履带方式行进:
  - 1) 履带应当具有足够的强度和灵活性,能够使水下机器人在水下不平坦、倾斜或松软等海底地形上稳定行进,可跨越一定高度的障碍物、可防打滑;
  - 2) 履带材料应耐腐蚀,宜选择轻质材料;
  - 3) 行进过程中应防止履带卡住电缆;
  - 4) 履带驱动系统应进行防水设计。
- b) 以推进器推进方式行进:
  - 1) 应配备足够数量的推进器;
  - 2) 系柱前进推力不小于 150 N,系柱后退推力不小于 120 N,系柱横移推力不小于 75 N,系柱升沉推力不小于 75 N;
  - 3) 可实现水平 360°任意方向或规定方向上的矢量推进。
- c) 以外力拖拽滑行方式行进:
  - 1) 拖缆或拖绳具备高强韧性,能够承受拖曳过程中产生的拉力;
  - 2) 拖缆或拖绳材料应耐腐蚀,能适应水下压力变化;
  - 3) 拖拽过程中应保持稳定,避免因水流冲击或地形变化翻滚,可配备推进器或稳定翼来辅助控制。
- d) 以其他方式进行的作业型有缆遥控水下机器人应符合相关规定和要求。

### 5.3.5 驱动

要求如下。

- a) 液压驱动:
  - 1) 液压系统能提供足够的、稳定的动力输出,具备油压保护、油温保护、泄漏检测等安全机制;
  - 2) 液压系统具备密封性,能防止海水进入液压系统内部造成污染或腐蚀;
  - 3) 液压泵、油箱、管路和执行机构(如液压缸、马达)等能承受水下高压环境;
  - 4) 液压油具备环境兼容性,能适应水下温度变化;
  - 5) 液压油路中应安装油水分离装置,能过滤油路中渗入的海水;
  - 6) 液压系统的其他要求应符合 GB/T 3766 的规定。
- b) 电驱动:
  - 1) 电力系统应提供足够的、稳定的电力供应,电源应选用 GB/T 156 的标称电压,交流供电电源电压偏差应符合 GB/T 12325 的规定,低压直流电源性能应符合 GB/T 17478 的规定;
  - 2) 电源控制箱上应设有电路总开关,宜设有控制箱和机器人本体独立电源开关,安装位置应醒目、方便操作;

3) 电源应满足机器人最大作业模式下的能耗要求,同时机器人内部宜综合考虑散热与强度性能进行合理布局。

c) 液电混合驱动:

- 1) 液压系统和电力系统集成紧密,两者之间能够无缝切换和协同工作;
- 2) 液压系统和电力系统接口和控制逻辑能实现互相补充和支持;
- 3) 具备能量分配机制,可根据不同任务需求动态调整液压和电力系统的使用;
- 4) 液电混合驱动系统应同时满足 5.3.5 a)和 b)的要求。

### 5.3.6 脐带缆破断力

作业型有缆遥控水下机器人脐带缆应具备抗拉、耐磨、防水性能,破断力应满足水下机器人自身重力、放缆长度、海洋动力条件等要求,如无特殊要求,破断力不宜低于最大工作载荷的 1.5 倍。

## 5.4 安全

### 5.4.1 基本安全

作业型有缆遥控水下机器人的水面部分安全应符合 GB 11291.1 中涉及要求及保护措施的相关规定。

### 5.4.2 接地

作业型有缆遥控水下机器人本体、水面控制单元、控制系统、动力源均应接地,并直接标明或在其附近标明明显的接地标识;水面控制单元阻值应不超过  $0.1\ \Omega$ ,水下机器人控制系统阻值应不超过  $1\ \Omega$ 。

### 5.4.3 绝缘电阻

要求如下:

- a) 水面控制单元动力交流电源电路与壳体之间的冷态绝缘阻值应不小于  $50\ \text{M}\Omega$ 、热态绝缘阻值不应小于  $1\ \text{M}\Omega$ ;
- b) 电子舱内的电路与壳体之间的冷态绝缘阻值应不小于  $20\ \text{M}\Omega$ 、热态绝缘阻值应不小于  $1\ \text{M}\Omega$ ;
- c) 液压系统充油舱内的电路与壳体间的冷态绝缘阻值应不小于  $10\ \text{M}\Omega$ 、热态绝缘阻值应不小于  $0.5\ \text{M}\Omega$ ;
- d) 连接的水密电缆冷态绝缘阻值应不小于  $10\ \text{M}\Omega$ 、热态阻值应不小于  $0.5\ \text{M}\Omega$ ;
- e) 水面电力分布单元宜配备有线绝缘监测器,可连续实时监测动力电缆各相序绝缘并报警。

### 5.4.4 液压

液压系统及安全元件的标识、连接、功能应符合设计文件;液压系统中密封件和密封装置的材料应与所用的液压油、相邻材料以及工作条件和环境条件相容;除液压缸活塞杆在多次循环后有不足以成滴的微量渗油外,其他任何元件均无意外泄漏。

## 5.5 环境适应性

### 5.5.1 作业环境温度

作业型有缆遥控水下机器人应在  $0\ ^\circ\text{C}\sim 40\ ^\circ\text{C}$  的环境中正常工作。

### 5.5.2 贮存温度

作业型有缆遥控水下机器人的贮存温度应在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

### 5.5.3 工作水深

要求如下：

- a) 主体框架、电子舱、照明及摄像系统、云台、水下机械手等所有要求密封或承压的零部件和整机，应按照 GB/T 43849 的要求进行水静压力试验，在额定试验压力条件下不应产生内部进水、裂纹和可见变形，试验结束后应正常工作，浮力构件吸水率不大于1%，推进器全速运转的条件下不应进水或漏油；
- b) 作业型有缆遥控水下机器人应在设计水深条件下完成规定的作业任务。

### 5.5.4 振动

在频率 $13.2\text{ Hz}\sim 100\text{ Hz}$ 、振动加速度幅值 $7\text{ m/s}^2$ 的条件下，水下机器人本体的结构应运动灵活无明显形变，设备表面无裂痕，紧固件无松动，电性能稳定。

### 5.5.5 盐雾

在质量分数为 $4.9\%\sim 5.1\%$ ，pH 值为 $6.5\sim 7.2(35\text{ }^{\circ}\text{C})$ 的盐雾条件下，安装电子元器件的金属舱表面以及水下机器人本体金属结构不应出现明显腐蚀现象。

### 5.6 电磁兼容

作业型有缆遥控水下机器人各电子部件的射频电磁场辐射抗扰度和发射应符合 GB/T 10250 中最小抗扰度和发射要求，试验中应正常工作。

### 5.7 电源适应性

作业型有缆遥控水下机器人在电压波动不小于 $\begin{matrix} +10\% \\ -7\% \end{matrix}$ ，频率波动不小于 $\pm 5\%$ ，零线电压波动不小于 $\pm 10\%$ 各自的范围内运行，工作应正常。

## 6 试验方法

### 6.1 外观和结构

方法如下：

- a) 目视和触摸检查水下机器人的漆面、颜色等外观，以及文字、标识和主体材料；
- b) 检查水下机器人的紧固件、连接件的装配和活动情况；
- c) 使用校准过的钢卷尺、吊秤、台秤等量具测量水下机器人的尺寸和质量。

### 6.2 功能

#### 6.2.1 控制和操作

方法如下：

- a) 将组装调试正常的作业型有缆遥控水下机器人置于水中，如无特殊要求，水下机器人顶部距离水面不小于 $1\text{ m}$ ，水面控制单元通过脐带缆与水下机器人建立通信后，输入相关指令，控制操作水下机器人完成 5.2.1 a) 规定的动作；

- b) 根据作业型有缆遥控水下机器人的作业功能不同,试验前应有文件规定具体的功能指标和判定规则,试验过程中通过指令控制操作水下机器人完成相关动作;
- c) 使用钢卷尺测量水下机械手最大伸长距离、活动覆盖范围、前端最大张开距离;机械手夹持规定重量的重物,规定时间内应夹持牢固、无掉落;
- d) 控制水下机械手动作过程中,作业型有缆遥控水下机器人的横纵倾姿态应符合设计要求。

#### 6.2.2 信息采集和数据传输

将组装调试正常的作业型有缆遥控水下机器人浸没水中,使水面控制单元通过脐带缆与机器人建立通信,试验前应有文件规定具体的信息类型、采集频率、信息传输速率、误码率、屏幕分辨率等;启动后,使用网络测试仪、误码率监测仪、数字发生器、计算机及配套软件测试或目视检查信息采集和数据传输信息,使用钢卷尺测量显示屏尺寸,应满足 5.2.2 的要求。

#### 6.2.3 定位和导航

方法如下:

- a) 偏航试验:将组装调试正常的作业型有缆遥控水下机器人置于水池一端的中点,从中点位置出发、驶向水池另一端中点,根据水池两端的距离和另一端实际到达位置与其中点的偏移距离,计算偏航角度,重复试验 3 次;
- b) 定深试验:将组装调试正常的作业型有缆遥控水下机器人置于水中,测量水下机器人顶部距离水面的距离不小于 1 m 并设置定深,如无特殊要求,稳定不少于 15 min 后再次测量水下机器人顶部距离水面的距离,检查定深偏差是否在允许范围内,重复试验 3 次;
- c) 定位试验:在水池中利用卫星信号定位或其他方式定位进行标记,将作业型有缆遥控水下机器人放置于标记位置,使水面控制单元通过脐带缆与机器人建立通信后,获取并显示水下机器人的定位信息,与标记点定位信息进行比较,检查定位精度是否在允许范围内,重复试验 3 次;
- d) 试验前应有文件规定水下机器人在定位和导航试验中的基准点,选择本体的上顶面、下底面、中心、或其他位置(如传感器安装位置等)。

#### 6.2.4 视觉和图像处理

方法如下:

- a) 目视检查集成水下摄像头和水下照明灯数量,并将组装调试正常的作业型有缆遥控水下机器人和单独的水下摄像头置于水中同一位置拍摄同一目标物,水面控制单元通过脐带缆与水下机器人建立通信后,将水下摄像头直接拍摄得到的未经处理的图像与水下机器人图像处理系统处理过的图像比较,检查图像在清晰度、色彩、细节等方面是否有改善;不具备图像处理功能时,可单独检查水下摄像头的成像质量,应符合 5.2.4 的要求,若需要搭配水下照明灯使用,应组装完成后整体置于水中后再开始试验。
- b) 照明及摄像系统、云台其他性能的试验按照 GB/T 36896.4 规定的方法进行。

#### 6.2.5 安全应急

将作业型有缆遥控水下机器人放置于水池中,通过水面控制单元输出相关指令控制机器人完成 5.2.5 规定的应急动作并记录响应时间,试验过程中,应注意水下机器人应急响应后的疾坠、失控;若极端情况无法模拟,至少应检查水下机器人是否设计有规定的安全应急功能,制造厂应提供相关设计文件资料。

### 6.2.6 可扩展性

方法如下：

- a) 目视检查作业型有缆遥控水下机器人是否预留空间和接口,可以搭载规定的作业工具；
- b) 目视检查作业型有缆遥控水下机器人是否具备模块化设计,可以进行硬件和软件的升级；
- c) 多场景应用验证,如无特殊规定,现场应用时间不少于规定的作业时长。

## 6.3 性能

### 6.3.1 最大静水速度

在作业型有缆遥控水下机器人的本体上安装多普勒里程计(DVL),将水下机器人置于水中,如无特殊要求,让水下机器人定深在水面以下距离设备顶部 1 m 的深度处,通过水面控制单元给定输入控制其进退和左右横移方向,让机器人本体以最高速度进退或上下移动,来回重复 3 次,记录惯导系统在显示界面上的速度数据,最终的负载测量结果即测量值正负测量误差(方法误差+仪器误差+安装误差)。

### 6.3.2 转弯直径

将作业型有缆遥控水下机器人置于水中,操作机器人使其处于连续转弯状态,测试向左转弯的转弯直径和向右的转弯直径,各重复 3 次并计算平均转弯直径,判定试验结果是否符合 5.3.2 的规定。

### 6.3.3 负载

在作业型有缆遥控水下机器人的相关位置固定与最高负载能力(质量、体积等)相当的压载物,水下机器人在水池中应处于基本水平状态,且仍然可以实现规定的运动,最终的测量结果即测量值正负测量误差(方法误差+仪器误差+安装误差)。

### 6.3.4 行进

方法如下。

- a) 履带行进：
  - 1) 在水中模拟不同的行进环境,如泥沙面、渔网面、金属避免、凹凸障碍面、斜坡(如无特殊要求,斜坡长度应满足履带完整行进一圈)等,操作水下机器人在水中行进并测试行进速度,重复试验 3 次；
  - 2) 行进过程中应搭配水下摄像机,观察履带是否符合 5.3.4 a) 的要求。
- b) 推进行进：
  - 1) 检查推进器数量；
  - 2) 将作业型有缆遥控水下机器人置于水中,如无特殊要求,水下机器人顶部距离水面不小于 1 m,操作水下机器人向规定方向推进,观察水下机器人是否按指定方向行进并测试行进速度,重复试验 3 次；
  - 3) 总系柱推力按照 GB/T 36896.1—2018 中 6.3.2 的方法进行试验。
- c) 拖拽行进：
  - 1) 将作业型有缆遥控水下机器人置于水中,如无特殊要求,水下机器人顶部距离水面不小于 1 m,利用行吊按照一定速度拖曳前进,观察水下机器人行进过程中的稳定性,重复试验 3 次；
  - 2) 按照 6.3.6 进行拖缆或拖绳的破断力试验。
- d) 以其他方式行进的作业型有缆遥控水下机器人,应对其行进装置是否符合 5.3.4 d) 规定的功能

要求进行试验。

### 6.3.5 驱动

方法如下：

- a) 检查液压系统油路排列、连接密封；
- b) 检查油压保护、油温保护、泄漏检测等安全机制是否正常；
- c) 检查控制箱电路总开关、水下机器人本体独立电源开关；
- d) 电力系统应按照 GB/T 12325 的规定对交流供电电源偏差(电压、频率)或直流供电电源电压偏差进行试验；按照 GB/T 17478 的规定对低压直流电源设备的性能特性进行试验；判断试验结果是否符合 6.3.5 的规定；
- e) 对驱动系统的最大功率进行试验。

### 6.3.6 脐带缆破断力

截取一定长度的脐带缆,对中安装于拉力试验机上,缓慢加载拉伸载荷至最大工作载荷,保持不小于 5 min,目视检查脐带缆外观;若未发生断裂,继续缓慢拉伸至脐带缆发生断裂,记录破断时的载荷。

## 6.4 安全

### 6.4.1 基本安全

按照 GB 11291.1 设计要求及保护措施对水下机器人水面部分进行功能检测。

### 6.4.2 接地

检查接地标识并测量接地电阻。

### 6.4.3 绝缘电阻

按照 GB/T 5226.1 规定的绝缘电阻试验要求检验。

### 6.4.4 液压

液压系统装入水下机器人后,检查液压系统及安全元件是否符合 5.4.4 的要求,并记录所用液压油液的类型和黏度,以及温度稳定后油箱内液压油液的温度。

## 6.5 环境适应性

### 6.5.1 作业环境温度和贮存温度

将作业型有缆遥控水下机器人推进器、电子舱、水下摄像头、水下照明灯、水下机械手、液压源等搭载部件或整机分别按照 GB/T 32065.2、GB/T 32065.4 规定的方法,进行储存温度和工作温度的高低温试验。

### 6.5.2 工作水深

方法如下：

- a) 按照 GB/T 43849 规定的方法进行水静压力试验；
- b) 浮力构件测试吸水率时,应在水静压力试验前称重和试验后擦干立即称重；
- c) 充油电路按照 GB/T 32065.15 规定的方法进行带电试验,电路工作应正常；

d) 在测试水下机器人整机和推进器的动密封性时,应固定。

### 6.5.3 振动

按照 GB/T 32065.14 规定的方法进行试验。

### 6.5.4 盐雾

按照 GB/T 32065.10 规定的方法,对安装电子元器件的金属舱以及水下机器人本体金属结构进行试验。

### 6.6 电磁兼容

按照 GB/T 10250 规定的方法进行试验。

### 6.7 电源适应性

按照 5.7 的要求,在每种电压和频率波动的条件下,水下机器人各运行 15 min,试验过程中和试验后均应能正常工作。

## 7 检验规则

### 7.1 出厂检验

7.1.1 每台产品应经制造厂质量检验部门检验合格后方可出厂,并附有证明产品质量合格的文件。

7.1.2 检验抽样应全检或按照合同规定。

7.1.3 出厂检验项目应符合表 1 的规定。

7.1.4 出厂检验各项功能和技术指标应符合本文件的要求;若有不合格的检验项目,应查明原因,采取纠正措施后再对不合格项目和相关项目进行检验,若仍有不合格项目,则判为不合格。

表 1 检验项目

序号	检验项目	出厂检验	型式检验
1	外观和结构	○	○
2	功能	控制和操作	○
3		信息采集和数据传输	○
4		定位和导航	○
5		视觉和图像处理	○
6		安全应急	○
7		可扩展性	○
8		性能	最大静水速度
9	转弯直径		○
10	负载		○
11	行进		○
12	驱动		○

表 1 检验项目（续）

序号	检验项目		出厂检验	型式检验
13	性能	脐带缆破断力	○	○
14	安全	基本安全	○	○
15		接地	○	○
16		绝缘电阻	○	○
17		液压	○	○
18	环境适应性	作业环境温度	—	○
19		贮存温度	—	○
20		工作水深	—	○
21		振动	—	○
22		盐雾	—	○
23	电磁兼容		—	○
24	电源适应性		—	○

注1：“○”表示进行，“—”表示不进行。  
注2：部分作业型有缆遥控机器人无法开展水池试验或有要求时，可选择合适海域参考实验室水池试验方法进行现场试验。  
注3：试验介质一般为淡水，可按照制造商要求在部分检验项目中选择海水或一定浑浊度的水。

## 7.2 型式检验

7.2.1 有下列情况之一，应进行型式检验：

- 新产品或老产品转厂定型时；
- 正式生产后如结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；
- 产品停产超过1年后，恢复生产时；
- 出厂检验结果与上次型式有较大差异时；
- 合同规定时；
- 国家质量检验监督机构提出型式试验要求时。

7.2.2 型式检验项目应符合表 1 的规定。

7.2.3 型式检验样品应从出厂检验合格的产品中随机抽取，如无特殊要求，数量为 1 台。

7.2.4 进行型式检验的样品的所有项目均符合要求的判定型式检验合格；若发现某个检验项目不合格，应停止检验，并在采取纠正措施后，根据缺陷的严重程度，经协商可重新进行全检或仅对不合格项进行检验，若再次检验仍不合格，则判定型式检验不合格。

## 8 标志和随机文件

### 8.1 标志

8.1.1 应在作业型有缆遥控水下机器人外壳明显处设置铭牌，铭牌字迹应清晰、安装应正确牢固，厚度宜不小于 1 mm，铭牌应在使用介质中耐腐蚀，可选择不锈钢、钛合金等材质，铭牌内容应至少包括：

- a) 产品名称和型号规格；
- b) 产品识别编号；
- c) 制造商名称或标识；
- d) 生产日期。

8.1.2 若存在包装和运输过程中需要拆卸部分零部件和系统时,以及错误的重新连接组装可能引起故障或危险的情况下,应进行标识以被清晰地识别,其标识应与随机文件上的资料相符。

## 8.2 随机文件

作业型有缆遥控水下机器人的随机文件应至少包括:

- a) 装箱单；
- b) 产品合格证书；
- c) 使用说明书或技术操作手册；
- d) 图纸,包括设备外形尺寸图、安装尺寸图、载荷图、重心图、电气原理图、液压原理图等；
- e) 技术规格书或者产品技术参数表；
- f) 产品安装手册,明确安装的条件、流程、固定要求；
- g) 维护保养及检修手册；
- h) 属具、备品备件及软件；
- i) 液压油液的材料安全数据表(若制造商提供注满液压油液的系统)；
- j) 其他合同规定的技术资料。

## 9 包装、运输和贮存

### 9.1 包装

9.1.1 作业型有缆遥控水下机器人包装应防止产品在运输过程中遭受损坏和雨水的侵蚀,暴露的孔口应通过密封或放在相应清洁和封闭的包装内加以保护,外螺纹应采取保护,其他要求应符合 GB/T 5048 的规定,并满足水陆运输及装载的要求。

9.1.2 包装应符合 GB/T 13384 的规定,并附有装箱单及相关的随机文件。

9.1.3 包装上的标志应符合 GB/T 191 的规定。

### 9.2 运输

9.2.1 包装好的作业型有缆遥控水下机器人产品在运输起吊时应按包装上的标记稳起轻放,在运输过程中应避免雨雪直接淋袭、接触腐蚀性气体、机械损伤及标志破坏。

9.2.2 运输尺寸和质量应与买方提供的可利用的搬运设施(例如起重工具、出入通道、地面承载)相适合。

9.2.3 合同规定的其他配套设备及配件应包装好后同时发送。

### 9.3 贮存

存放作业型有缆遥控水下机器人产品的仓库应保持空气流通、防油、防火、防潮、防烈日暴晒、防雨雪侵入等,周围环境无腐蚀、易燃气体,无强烈机械振动、冲击及强磁场。

参 考 文 献

- [1] GB/T 13407 潜水器与水下装置术语
  - [2] GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡
  - [3] GB/T 15945 电能质量 电力系统频率偏差
  - [4] GB/T 21412.5—2017 石油天然气工业 水下生产系统的设计和操作 第5部分:水下脐带缆
  - [5] GB/T 36896.2 轻型有缆遥控水下机器人 第2部分:机械手与液压系统
  - [6] GB/T 36896.3 轻型有缆遥控水下机器人 第3部分:导管螺旋桨推进器
  - [7] GB/T 39590.1 机器人可靠性 第1部分:通用导则
  - [8] GD 22 电气电子产品型式认可试验指南
  - [9] ISO 13628-8 Petroleum and natural gas industries—Design and operation of subsea production systems—Part 8: Remotely operated vehicle (ROV) interfaces on subsea production systems
  - [10] DNVGL-ST-0033 Maritime simulator systems
  - [11] NORSOK STANDARD U-102 Remotely operated vehicle (ROV) services
-







中国海洋工程咨询协会  
团体标准  
作业型有缆遥控水下机器人  
第1部分：总则  
T/CAOE 82.1—2025

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
网址 www.spc.net.cn  
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238  
读者服务部:(010)68523946  
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 33 千字  
2025年6月第1版 2025年6月第1次印刷

\*

书号:155066·5-14199 定价 43.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权所有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



T/CAOE 82.1-2025