|  |  |
| --- | --- |
| ICS | 25.040.30 |
| CCS | P 50 |

团体标准

满水带压作业机器人系统通用技术条件

General specification for operating robot system for rainwater and sewage pipes under full water and pressure condition

（征求意见稿）

（本稿完成时间：2022.09.28）

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

`

中国自动化学会发布

目次

[前言 III](#_Toc116222963)

[1 范围 1](#_Toc116222964)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc116222965)

[3 术语和定义 1](#_Toc116222966)

[4 机器人分类及型号 3](#_Toc116222980)

[4.1 机器人分类 3](#_Toc116222981)

[4.2 型号 3](#_Toc116222982)

[5 要求 4](#_Toc116222983)

[5.1 系统功能要求 4](#_Toc116222984)

[5.2 机器人本体要求 4](#_Toc116222985)

[6 试验方法 6](#_Toc116222986)

[6.1 系统功能检查 6](#_Toc116222987)

[6.2 机器人本体试验 7](#_Toc116222988)

[7 检验规则 8](#_Toc116222989)

[7.1 检验分类 8](#_Toc116222990)

[7.2 出厂检验 8](#_Toc116222991)

[7.3 验收检验 9](#_Toc116222992)

[7.4 型式检验 9](#_Toc116222993)

[8 标志、包装、运输和贮存 10](#_Toc116222994)

[8.1 标志 10](#_Toc116222995)

[8.2 包装 10](#_Toc116222996)

[8.3 运输 10](#_Toc116222997)

[8.4 贮存 10](#_Toc116222998)

[附 录 A 1](#_Toc116222999)

[（规范性附录） 1](#_Toc116223000)

[A.1 满水带压作业机器人性能试验 1](#_Toc116223001)

[参考文献 11](#_Toc116223002)

1. 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这些专利的责任。

本文件由中国自动化学会提出。

本文件由中国自动化学会负责归口。

本文件起草单位：南京邮电大学、南京安透可智能系统有限公司、中机国际工程设计研究院有限责任公司。

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

满水带压作业机器人系统通用技术条件

* 1. 范围

本文件规定了满水带压作业机器人的产品分类、性能、技术要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存的要求。

* 1. 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 191 包装储运图示标志

GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温

GB/T 2423.3 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验

GB/T 2423.10 [电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）](http://bz.eoei.avic/stdsys/platform/module/attachment/getAttachDetailPdf.action?method=getAttachDetailPdf&attachID=8a8abe1f4989996e0149a2f6c3ed0536&cacheFlag=yes)

GB/T 2423.41 [电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 风压](http://bz.eoei.avic/stdsys/platform/module/attachment/getAttachDetailPdf.action?method=getAttachDetailPdf&attachID=8a8abe1f4989996e0149a2f6c3ed0536&cacheFlag=yes)

GB/T 3766 液压系统通用技术条件

GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 4857.23 包装 运输包装件基本试验 第23部分：随机振动试验方法

GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第一部分：通用技术条件

GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件

GB/T 15412 应用电视摄像机云台通用技术条件

GB/T 16855.1 机械安全 控制系统有关安全部件 第1部分：设计通则

GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验

GB/T 17626.9 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验

GB/T 18209.2 机械电气安全 指示 标志和操作 第2部分：标志要求

CJJ 6-2009 城镇排水管道维护安全技术规程

CJJ 181-2012 城镇排水管道检测与评估技术规程

DB31/T 444-2009 排水管道电视和声纳检测评估技术规程

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。



## 雨污管渠 rainwater and sewage pipes

收集、输送和排除雨水和各种污水的管渠的总称。



## 满水 full water

在设计流量下，污水在管道中的水深h和管道直径D的比值称为设计充满度，当h/D=1时称为满水，也称满流。



## 管渠满水带压作业机器人 Operating robot for rainwater and sewage pipes under full water and pressure condition

由电池作为电源或液压作为动力源或由动力通讯线缆提供电能的移动载体、通信设备、检测与数据采集设备和功能作业模块等组成，用于雨污管渠满水带压作业的移动巡检装置。



## 满水带压作业机器人系统 Operating robot system for rainwater and sewage pipes under full water and pressure condition

由管渠满水带压作业机器人本体、地面动力与通讯装置、地面监控基站和巡检数据管理系统几部分组成。必要时配置机器人下井装置、井口及井底导向装置和远程集控后台，能够通过自主或遥控模式进行雨污管渠满水带压作业的系统。



## 地面动力与通讯装置Ground power and communication device

由电池、计米器、通信模块、动力通讯线缆、液压管路、牵引绳、线缆卷筒和便携移动平台车等组成，通过动力通讯线缆与机器人连接，为机器人提供电源和通信的装置。



## 地面监控基站 Ground monitoring base station

由计算机/服务器、通信设备、便携式机器人操控设备、机器人工程控制软件/机器人控制APP、数据分析软件和数据库等组成，在地面监控和操控管渠内的机器人作业，同时实现与远程集控后台之间实时交互通讯。



## 巡检数据管理系统Patrol data management system

用于管渠满水带压作业机器人采集到的雨污管渠巡检数据的保存、管理、查询的系统。



## 远程集控后台Remote centralized control background

用于集中监控、管理多个输电线路机器人巡检系统的计算机系统。



## 自主作业Autonomous operation

无操作人员干预，机器人按预先规划任务进行作业。



## 遥控作业Remote operation

操作人员通过地面监控基站操控机器人进行作业。



## 作业过程实时通信Real time communication during operation

机器人在巡检作业时与地面监控基站等保持实时通信。



## 机器人下井装置Robot downhole device

用于将机器人从地面下放至待作业管渠内部的装置。



## 井口及井底导向装置Wellhead and bottom hole guiding device

用于导向和保护机器人的动力通讯线缆、液压管、牵引绳等装置。

* 1. 机器人分类及型号
     1. 机器人分类

4.1.1 根据机器人的作业内容和目的，机器人可分为满水带压检测机器人和满水带压治理作业机器人。

满水带压检测机器人包括：

1） 常规巡检机器人，用于常规工况条件下的管道状态数据巡检和数据采集；

2） 全环境巡查机器人，用于各种管道环境下的管道状态巡检和数据采集；

3） 侦查机器人，用于管道环境的检测。

满水带压治理作业机器人包括：

1） 清淤机器人，用于管道淤泥堆积物的清除；

2） 修补机器人，用于管道漏点的修补；

3） 螺旋机器人，用于管道堵塞打通；

4） 清障机器人，用于管道内部固体障碍物的清除。

4.1.2 根据机器人用于管渠的截面尺寸进行分类，即根据管渠的直径大小确定的机器人的尺寸参数。

* + 1. 型号

型号由产品的型式代号、类别及管渠截面尺寸组成。机器人的型式代号用SYJ表示。

表示方法：

SYJ ∕ □ —— □

管渠标称尺寸：管道直径/箱涵（明渠）宽度

类别代号（JC-检测，ZL-治理）

型式代号（代号根据“水“”压”的汉语拼音首字母编写）

示例：

满水带压作业机器人类别为检测式，管道标称尺寸：DN600

型号表示为：SYJ/JC—600

* 1. 要求
     1. 系统功能要求

1. 应具有自主作业和遥控作业模式，机器人按预先规划任务对指定管渠段进行施工作业；
2. 应具备测控数据双向传输和实时图像远传功能；
3. 应具备下列检测与数据采集设备模块：

可见光检测设备、机械波定位模块、水质传感器、水深传感器、声音传感器、温度传感器、流速传感器、高精度IMU惯性测量单元和高精度全向声纳。

上述模块根据施工任务要求进行配备

1. 应具备下列功能作业模块：

清障模块、清淤模块、快速修复模块及封堵模块。

上述功能作业模块根据施工任务要求进行配备。

* + 1. 机器人本体要求
    2. 一般要求

5.2.1.1 环境条件

1. 市政雨污管渠；
2. 环境温度：-25℃～45℃；
3. 逆流运动能力：0.75m/s；
4. 少水、高水位及满水；
5. 防护等级：IP68。

5.2.1.2 外观结构

a） 机器人表面应有保护涂层或防腐设计，外表应光洁、均匀，不应有伤痕、毛刺等缺陷，标识清晰；

b） 机器人外部电气及控制线路应排列整齐、固定牢靠、走向合理，便于安装、维护，并用醒目的颜色和标志加以区分。

* + 1. 功能要求

5.2.2.1 运动

机器人应具有在管渠中前进、后退、原地回转、左右横移、浮起下潜、定深、姿态保持的功能。

5.2.2.2 操控

机器人应能在地面监控基站操控下根据需要自由切换手动模式、自动模式及智能模式运行和作业施工。

5.2.2.3 通信

机器人作业过程中，在通讯范围内应能将自身的状态参数和巡检数据传输至地面监控基站，并能接受和执行地面监控基站的控制指令。

5.2.2.4 电源管理

机器人巡检作业中，应具有电池剩余电量、续航里程的估算和显示功能。

5.2.2.5 接口扩展要求

机器人巡检作业中，应具有根据需求扩展连接激光雷达、探地雷达、声纳、水质检测、声波检测、流量检测、流速检测、空间定位器等功能模块的功能。

* + 1. 性能要求

5.2.3.1 机器人的运动性能要求如下

a） 额定行走速度应不小于1m/s；

b） 滚动爬坡能力应不小于30°；

c） 额定行走速度下，最大制动距离应不大于0.3m。

5.2.3.2 机器人云台的性能要求如下

a） 机器人云台应具有垂直和水平方向两个旋转自由度；

b） 垂直旋转范围应不小于90°；

c） 水平旋转范围应不小于300°；

d） 具备一键复位功能.

* + 1. 影响量的影响
       1. 高低温及湿度的影响

1. 高温影响

机器人根据GB/T 2423.2中“试验Bb”进行试验后应满足5.2.1.2、5.2.2和5.2.3的要求。

1. 低温的影响

机器人根据GB/T 2423.1中“试验Ab”进行试验后应满足5.2.1.2、5.2.2和5.2.3的要求。

1. 湿度的影响

机器人根据GB/T 2423.3中“试验Ca”进行试验后应满足5.2.1.2、5.2.2和5.2.3的要求。

* + - 1. 机械振动的影响

a）整机振动

机器人承受GB/T 2423.10规定的振动试验后应满足5.2.1.2、5.2.2和5.2.3的要求。

b）运输振动

机器人在包装条件下承受GB/T 4857.23规定的试验后应满足5.2.1.2、5.2.2和5.2.3的要求。

* + - 1. 电磁兼容的影响

1. 静电放电抗扰度

机器人进行GB/T 17626.2规定的试验后，试验结果评定应达到a级。

1. 射频电磁场辐射抗扰度

机器人进行GB/T 17626.3规定的试验后，试验结果评定应达到a级。

1. 工频磁场抗扰度

机器人进行GB/T 17626.8规定的试验后，试验结果评定应达到a级。

1. 脉冲磁场抗扰度

机器人进行GB/T 17626.9规定的试验后，试验结果评定应达到a级。

* + 1. 外壳防护要求

机器人防护等级要求为IP68。

* + 1. 可靠性要求

1. 机器人平均无故障巡检里程应不小于120km，并能通过48h长时间无故障连续巡检试验；
2. 机器人一次充电连续巡检时间应不小于8h，在此期间，机器人应稳定、可靠工作；
3. 电池剩余电量、续航里程的估算误差不超过10%；
4. 机器人采用有线通信方式时，在通信范围内的数据丢包率不超过1%。
   1. 试验方法
      1. 系统功能检查
5. 在机器人控制手柄/终端设备上操纵切换自主作业和遥控作业模式；
6. 远程监控终端设备上查看机器人获取的图像、声呐、行进距离等信息，同时发出指令操控机器人检查反应时间；
7. 目测观察检测与数据采集设备模块齐备程度，机器人接口配套情况；
   * 1. 机器人本体试验
   1. 外观检查

目测检查机器人表面及外部电气、控制线路。

* 1. 功能检查

在机器人远程监控终端设备上操作机器人，应能实时获取图像、声呐、行进距离等信息，同时发出指令操控机器人及时做出反应；

* 1. 性能试验

6.2.3.1 机器人性能试验

按照附录A规定的方法和要求进行试验。

6.2.3.2 云台性能试验

按照GB/T 15412的规定的方法进行云台性能试验。

* 1. 影响量的影响试验

6.2.4.1 高低温及湿度试验

a）高温试验

按照GB/T 2423.2中“试验Bb”进行，严酷等级应满足：温度+45℃，持续时间16h。

b）低温试验

按照GB/T 2423.1中“试验Ab”进行，严酷等级应满足：温度-25℃，持续时间16h。

c）湿度试验

按照GB/T 2423.3中“试验Ca”进行，严酷等级应满足：温度+45℃，湿度95%，持续时间16h。

6.2.4.2 机械振动试验

a）整机振动试验

按照GB/T 2423.10规定进行试验，严酷等级应满足下列要求：

——频率范围：10Hz~55Hz~10Hz；

——位移振幅：0.15mm；

——扫描时间：10min；

——扫描循环次数：2次；

——不通电。

b）运输振动试验

机器人包装后应能承受GB/T 4857.23规定的严酷水平II级、试验时间180min运输振动试验。

6.2.4.3 电磁兼容试验

1. 静电放电抗扰度试验

根据GB/T 17626.2的规定和方法进行试验，试验等级为4级。

1. 射频电磁场抗扰度试验

根据GB/T 17626.3的规定和方法进行试验，试验等级为3级。

1. 工频磁场抗扰度试验

根据GB/T 17626.8的规定和方法进行试验，试验等级为5级。

1. 脉冲磁场抗扰度试验

根据GB/T 17626.9的规定和方法进行试验，试验等级为5级。

* 1. 外壳防护试验

按照[GB/T 4208](http://bz.eoei.avic/stdsys/platform/module/attachment/getAttachDetailPdf.action?method=getAttachDetailPdf&attachID=8a8abe1f4989996e0149a2f6c3ed0536&cacheFlag=yes)的规定和方法进行防护等级为IP68的试验。

* 1. 可靠性试验

一次充电下按作业要求在试验管段连续作业：包括正常运行速度情况下按作业要求往返试验管段、最大运行速度情况下按作业要求往返试验管段。

* 1. 检验规则
     1. 检验分类

检验分型式检验、出厂检验和验收检验三种。

* + 1. 出厂检验
    2. 检验项目

检验项目见表1。

表1 检验项目

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检验对象 | 检验类别 | 检验项目 | 型式  检验 | 出厂  检验 | 验收  检验 | 技术  条款 | 试验  方法 |
| 1 | 机器人 |  | 外观检查 | √ | √ | √ | 5.2.1.2 | 6.2.1 |
| 2 | 性能试验 | 机器人性能试验 | √ | — | √ | 5.2.3.1 | 6.2.3.1 |
| 3 | 云台性能试验 | √ | — | √ | 5.2.3.2 | 6.2.3.2 |
| 4 | 环境试验 | 高低温及湿度试验 | √ | — | — | 5.2.4.1 | 6.2.4.1 |
| 5 | 机械振动试验 | √ | — | — | 5.2.4.2 | 6.2.4.2 |
| 6 | 电磁兼容试验 | √ | — | — | 5.2.4.3 | 6.2.4.3 |
| 7 | 外壳防护试验 | √ | — | — | 5.2.5 | 6.2.5 |
| 8 | 可靠性试验 | √ | — | — | 5.2.6 | 6.2.6 |
| 注：1）“√ ”表示试验规定项目，“— ”表示不需进行该项试验；  2）巡检系统为基本配置的，型式试验仅进行1～8项；  3）巡检系统选配了自动上下线装置或塔上充电装置的，则应进行相应的型式试验项目。 | | | | | | | | |

* + 1. 检验规则

a） 以相同规格、相同材料、相同工艺、相同设备，连续、稳定生产达到十台为一批，不足此数时视为一批；

b） 每台均应进行外观结构检查。

* + 1. 判定规则

a） 外观结构检查符合要求，则判定该批机器人合格，否则判定不合格；

b） 采用一次抽样时，如果有一项及以上检验项目不符合要求，则判定该批产品不合格。

* + 1. 验收检验
    2. 检验项目

检验项目见表1。

* + 1. 检验方案

a） 以相同规格、相同材料、相同工艺、相同设备，稳定连续生产达到十台为一批，不足此数时视为一批；

b） 每台均应进行外观结构检查；

* + 1. 判定规则

a）外观结构检查符合要求，则判定该批机器人合格，否则判定该批机器人不合格；

b）采用一次抽样时，如果有一项及以上检验项目不符合要求，则判定该批产品不合格。

* + 1. 型式检验
    2. 检验条件

有下列情况之一时应进行型式检验：

a）正式投产前的试制定型检验；

b）正式投产后，如设计、工艺材料、元器件有较大改变，可能影响产品性能时；

c）正常生产三年；

d）连续停产一年及以上后恢复生产；

e）出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；

f）国家技术监督机构或受其委托的技术检验部门提出型式检验要求时。

* + 1. 检验项目

检验项目见表1。

* + 1. 判定规则

所检项目全部合格，判型式检验合格，否则判型式检验不合格。

* 1. 标志、包装、运输和贮存
     1. 标志

机器人应有永久性标牌，标牌的内容至少应包括：产品名称、型号、制造商名称、生产日期和出厂编号等。

* + 1. 包装

1. 包装箱应符合GB/T 13384的规定;
2. 包装箱内应附有装箱单、检验合格证、中文使用说明书（包括外观图、各部位名称、功能、规格、各项重要技术指标、操作方法、注意事项及环保要求等）、专用工具及相关的资料;
3. 包装箱上的标志应符合GB/T 191的规定。
   * 1. 运输
4. 包装好的机器人，在运输过程中应避免受潮、受腐蚀与机械损伤;
5. 机器人应适用于陆运、空运、水运（海运），运输装卸按包装箱上标志的规定进行操作。
   * 1. 贮存
6. 存放机器人的室内场所环境温度宜为0℃～40℃，相对湿度宜小于80%;
7. 贮存场所应无酸、碱、盐及腐蚀性、爆炸性气体和灰尘、雨、雪的侵害。

附 录 A

（规范性附录）

A.1 满水带压作业机器人性能试验

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **二类子测试项目** | **参考标准** | **试验目标** | **试验方法** |
| 1 | 静水姿态检查 | / | 机器人自由放置在水中应保持平稳，晃动机器人后其应能自动到初始状态，机器人始终漂浮在水面。 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将机器人（空载）放置在已经加注要求水位的水池中，待其稳定，观察此时机器人在水中的状态。  6.分别给机器人前后左右施加一定侧向偏转力矩（此力矩不会使机器人翻转），然后快速释放施加的力矩，观察机器人回正过程和最终稳定状态。  7.装载声纳、机械波、水质传感器、声呐/机械波、声呐/水质传感器、声呐/水质传感器/机械波后按上述方法进行测试。 |
| 2 | 静水侧翻力检测 | / | 使机器人发生侧翻的最大力。 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将机器人（空载）放置在已经加注要求水位的水池中，然后在前后左右四个方向的最边沿施加压力，直到机器人发生侧翻，读取并记录此时的压力值。  6.装载声纳、机械波、水质传感器、声呐/机械波、声呐/水质传感器、声呐/水质传感器/机械波后按上述方法进行测试。 |
| 3 | 前进-停止 | / | 机器人具备在水中前进能力 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.APP联机后不调节档位，通过APP控制机器人前进，观察机器人运动状态。  6.将APP档位调到最大，通过APP控制机器人前进，观察机器人运动状态。 |
| 4 | 前进档位调节 | / | 机器人具有前进速度调节功能，肉眼可以感觉到每个档位的速度变化。 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人前进，观察机器人运动状态。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。 |
| 5 | 前进停止延时 | / | 前进-停止延时不超过0.2s，停止距离不超过10cm。 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人前进，待速度稳定并到达标记位置时，用APP控制机器人停止前进，记录停止时长并测量标记位到最终停止位置的直线距离。  6.依次调到最大档位，按上述1-5方法进行测试。  7.装载声纳、机械波、水质传感器、声呐/机械波、声呐/水质传感器、声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 6 | 后退-停止 | / | 机器人具备在水中后退能力 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.APP联机后不调节档位，通过APP控制机器人后退，观察机器人运动状态。  6.将APP档位调到最大，通过APP控制机器人后退，观察机器人运动状态。 |
| 7 | 后退档位调节 | / | 机器人具有后退速度调节功能，肉眼可以感觉到每个档位的速度变化。 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人后退，观察机器人运动状态。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。 |
| 8 | 后退停止延时 | / | 后退-停止延时不超过0.2s，停止距离不超过10cm。 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人后退，待速度稳定并到达标记位置时，用APP控制机器人停止后退，记录停止时长并测量标记位到最终停止位置的直线距离。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7.装载声纳、机械波、水质传感器、声呐/机械波、声呐/水质传感器、声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 9 | 左转-停止 | / | 机器人具备在水中左转能力 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.APP联机后不调节档位，通过APP控制机器人左转，观察机器人运动状态。  6.将APP档位调到最大，通过APP控制机器人左转，观察机器人运动状态。 |
| 10 | 左转档位调节 | / | 机器人具有左转速度调节功能，肉眼可以感觉到每个档位的速度变化。 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人左转，观察机器人运动状态。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。 |
| 11 | 左旋停止延时 | / | 左转-停止延时不超过0.2s，停止角度不超过5°。 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人左转，待速度稳定并到达标记位置时，用APP控制机器人停止左转，记录停止时长并测量标记位到最终停止位置的角度。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7.装载声纳、机械波、水质传感器、声呐/机械波、声呐/水质传感器、声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 12 | 右转-停止 | / | 机器人具备在水中右转能力 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.APP联机后不调节档位，通过APP控制机器人右转，观察机器人运动状态。  6.将APP档位调到最大，通过APP控制机器人左转，观察机器人运动状态。 |
| 13 | 右转档位调节 | / | 机器人具有右转速度调节功能，肉眼可以感觉到每个档位的速度变化。 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人右转，观察机器人运动状态。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。 |
| 14 | 右旋停止延时 | / | 右转-停止延时不超过0.2s，停止角度不超过5°。 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人右转，待速度稳定并到达标记位置时，用APP控制机器人停止右转，记录停止时长并测量标记位到最终停止位置的角度。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7.装载声纳、机械波、水质传感器、声呐/机械波、声呐/水质传感器、声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 15 | 上浮-停止 | / | 机器人具备在水中上浮能力 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.APP联机后不调节档位，观察机器人运动状态。  6.将机器人沉到管底，通过APP控制机器人最大档位上浮，观察机器人运动状态。 |
| 16 | 上浮档位调节 | / | 机器人具有上浮速度调节功能，肉眼可以感觉到每个档位的速度变化。 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人上浮，观察机器人运动状态。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。 |
| 17 | 上浮停止延时 | / | 上浮-停止延时不超过0.2s，停止角度不超过5cm。 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人上浮，待速度稳定并到达标记位置时，用APP控制机器人停止上浮，记录停止时长并测量标记位到最终停止位置的距离。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7.装载声纳、机械波、水质传感器、声呐/机械波、声呐/水质传感器、声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 18 | 下潜-停止 | / | 机器人具备在水中下潜能力 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.APP联机后不调节档位，观察机器人运动状态。  6.通过APP控制机器人最大档位下潜，观察机器人运动状态。 |
| 19 | 下潜档位调节 | / | 机器人具有下潜速度调节功能，肉眼可以感觉到每个档位的速度变化。 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人下潜，观察机器人运动状态。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。 |
| 20 | 下潜停止延时 | / | 下潜-停止延时不超过0.2s，停止角度不超过5cm。 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人下潜，待速度稳定并到达标记位置时，用APP控制机器人停止下潜，记录停止时长并测量标记位到最终停止位置的距离。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7.装载声纳、机械波、水质传感器、声呐/机械波、声呐/水质传感器、声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 21 | 俯仰调整功能 | / | 机器人具备头部上下俯仰的能力 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.通过APP调节机器人头部扬起或者俯下，并观察动作姿态。 |
| 22 | 俯仰姿态保持功能 | / | 机器人具备俯仰姿态保持功能 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.通过APP调节机器人头部扬起，松开调节按钮，观察机器人姿态；5°/次，直到扬起极限为止。  5.俯冲姿态按上述方法进行测试。  6.装载声纳、机械波、水质传感器、声呐/机械波、声呐/水质传感器、声呐/水质传感器/机械波后按上述1-5项方法进行测试。 |
| 23 | 顺时针横滚功能 | / | 机器人应具备顺时针360°翻转能力 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.通过APP操控机器人顺时针翻转，连续旋转720°，观察机器人在翻转过程中的姿态情况。 |
| 24 | 逆时针横滚功能 | / | 机器人应具备顺时针360°翻转能力 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.通过APP操控机器人逆时针翻转，连续旋转720°，观察机器人在翻转过程中的姿态情况。 |
| 25 | 定深巡航功能 | / | 机器人应具备自动定深功能，并且在前进后退左转右转时能保持深度变换量不超过±5cm | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.将机器人下潜到给定深度，并将此深度设定为机器人运动保持深度后不操控APP，观察机器人运动姿态。  5.通过APP操作机器人前进，观察机器人运动姿态。  6.后退、左转、右转应都按上述方法进行测试。 |
| 26 | 流水定点悬浮功能 | / | 机器人应能在水流速度不大于3m/s的流水中具备定点悬浮功能。 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：流水  4.将机器人放置到专用测试管道中，通过APP操控其定点悬浮在合适的水深处。  5.开启水流循环电机，将水流速度调到到0.5m/s，观察机器人姿态，并记录最终位置与起始位置的偏移量。  6.水流速度按0.5m/s梯度上调，直到最大水流速度3m/s停止，按上述方法进行测试。 |
| 27 | 前进速度测量 | / | 机器人最大满载速度应不小于3m/s | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人前进，待速度稳定并到达标记位置开始计时，到达下一个标记位停止计时，通过计算得出前进速度。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7.装载声纳、机械波、水质传感器、声呐/机械波、声呐/水质传感器、声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 28 | 后退速度测量 | / | 机器人最大满载速度应不小于3m/s | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人后退，待速度稳定并到达标记位置开始计时，到达下一个标记位停止计时，通过计算得出前进速度。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 29 | 上浮速度测量 | / | 机器人最大满载正常作业可调最大上浮速度应不大于0.05m/s | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人上浮，待速度稳定并到达标记位置开始计时，到达下一个标记位停止计时，通过计算得出前进速度。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7.声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 30 | 下潜速度测量 | / | 机器人满载正常作业可调最大下潜速度应不大于0.05m/s | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人下潜，待速度稳定并到达标记位置开始计时，到达下一个标记位停止计时，通过计算得出前进速度。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 31 | 左转角速度测量 | / | 机器人满载正常作业可调最大角速度应不大于30°/s | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人左转，待速度稳定并到达标记位置开始计时，到达下一个标记位停止计时，通过计算得出角速度。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 32 | 右转角速度测量 | / | 机器人满载正常作业可调最大角速度应不大于30°/s | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人右转，待速度稳定并到达标记位置开始计时，到达下一个标记位停止计时，通过计算得出角速度。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 33 | 顺时针横滚角速度测量 | / | 机器人满载正常作业可调最小角速度应不小于30°/s | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人顺时针翻转，待速度稳定并到达标记位置开始计时，到达下一个标记位停止计时，通过计算得出角速度。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 34 | 逆时针横滚角速度测量 | / | 机器人满载正常作业可调最小角速度应不小于30°/s | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.电缆按要求与机器人连接，并紧固  5.将APP档位调到1档，通过APP控制机器人逆时针翻转，待速度稳定并到达标记位置开始计时，到达下一个标记位停止计时，通过计算得出角速度。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 35 | 前进推进力测量 | GB/T 36896.3 2018 | 实测值 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.将机器人与拉力传感器连接紧固，慢慢下潜，直到机器人前进轴与力传感器轴重合。  5.将前进档位设定到1档，操控机器人定深前进，读取传感器值。  6.6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 36 | 后退推进力测量 | GB/T 36896.3 2018 | 实测值 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.将机器人与拉力传感器连接紧固，慢慢下潜，直到机器人前进轴与力传感器轴重合。  5.将前进档位设定到1档，操控机器人定深后退，读取传感器值。  6.6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 37 | 左转扭矩测量 | GB/T 36896.3 2018 | 实测值 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.将机器人左旋旋转中心点与拉力传感器硬连接紧固，使机器人前进轴与力传感器轴重合。  5.将前进档位设定到1档，操控机器人定深左旋，读取传感器值。  6.6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 38 | 右转扭矩测量 | GB/T 36896.3 2018 | 实测值 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.将机器人右旋旋转中心点与拉力传感器硬连接紧固，使机器人前进轴与力传感器轴重合。  5.将前进档位设定到1档，操控机器人定深左旋，读取传感器值。  6.6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 39 | 顺时针横滚扭矩测量 | GB/T 36896.3 2018 | 实测值 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.将机器人顺时针旋转中心点与拉力传感器硬连接紧固，使机器人前进轴与力传感器轴重合。  5.将前进档位设定到1档，操控机器人定深顺时针旋转，读取传感器值。  6.6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 40 | 逆时针横滚扭矩测量 | GB/T 36896.3 2018 | 实测值 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.将机器人逆时针旋转中心点与拉力传感器硬连接紧固，使机器人前进轴与力传感器轴重合。  5.将前进档位设定到1档，操控机器人定深顺时逆时针，读取传感器值。  6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 41 | 最大俯仰角测量 | / | 实测值 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.将机器人定深到合适水深，然后通过APP控制头部上扬到极限位置，测量上扬角度。  5.俯视角度按上述方法测量 |
| 42 | 最大动态离水高度测量 | / | 实测值 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.将机器人（带最大负载）定深到合适水深，然后通过APP控制其以最快速度上扬，记录机器人越出水面的最大高度，等机器人稳定后测量问题离水距离。 |
| 43 | 最小离地间隙测量 | / | 实测值 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.将机器人以1档的速度下潜，下潜到极限位置，测量机器人最低点距离地面的最小距离。6.依次调到最大档位，按上述方法进行测试。  7声呐/水质传感器/机械波后按上述1-6方法进行测试。 |
| 44 | 逆流通过性 | / | 实测值 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.管径：500mm  5.将机器人放置到专用测试管道中，通过APP操控其定点悬浮在合适的水深处。  5.开启水流循环电机，将水流速度调到0.1m/s，前进档位设定在1档，通过APP操控机器人前进，观察机器人是否能通过管道。  6.水流速度按0.1m/s梯度上调，直到机器人无法通过管道停止，按上述方法进行测试。  7.每个档位均应按上述1-6项进行测试。 |
| 45 | 抗侧向水流冲击能力 | / | 实测值 | 1.测试环境：室温；湿度：常湿  2.工作状态：上电  3.工作介质：水  4.管径：500mm  5..将机器人放置到专用测试管道中，通过APP操控其定点悬浮在合适的水深处。  5.开启水流循环电机，将水流速度调到0.5m/s，前进档位设定在1档，通过APP操控机器人前进，在前进过程中突然给机器人施加流速为0.5m/s的左侧向流量冲击，观察机器人姿态  6.侧向施加流量0.5m/s向上递增，直到机器人无法维持姿态为止。  7.每个档位均应按上述1-6项进行测试 |