

# 国家标准《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》

（征求意见稿）

## 编制说明

全国机器人标准化技术委员会特种设备用机器人分技术委员会（TC591/SC1）  
《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》起草工作组

二〇二三年一月

# 国家标准《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》

## 征求意见稿编制说明

### 1. 工作简况

#### 1.1 任务来源

海洋资源主要集中在水下 1000~6000 米区间，水下机器人主要的发展方向就是面向深海资源的勘探和开采。已有多款水下机器人能够下潜到大洋最深处—11000 米。然而，水下机器人在水静压力试验时，通常参考水文仪器、海洋仪器的水静压力试验方法。这些水静压力试验适用的海域通常较浅，样品类型的多样性方面远不及水下机器人零部件。国内目前尚无完善的水下机器人整机及零部件深海环境的检验标准，急需制定相关基本环境试验方法和检验规则。该标准的制定将为水下机器人产品的可靠性提供技术支撑，填补我国水下机器人水静压力试验方法和检验规则的空白，对提高水下机器人质量和整机稳定性，提升该类产品的竞争力有深远的影响。

该项目为国家标准化管理委员会 2021 年 10 月下达的 2021 年下达的第三批推荐性国家标准计划和相关标准外文版计划（国标委发[2021]28 号），项目编号为 20214321-T-469，项目由当时的全国特种作业机器人标准化工作组（SAC/SWG13）归口。后经国家标准化管理委员会批准将 SAC/SWG13 整体调整为全国机器人标准化技术委员会特种设备用机器人分技术委员会（TC591 /

SC1)。

## 1.2 起草单位

本标准由以下单位联合起草：中国科学院沈阳自动化研究所、深之蓝海洋科技有限公司、中机生产力促进中心、福建省特种设备检验研究院、香港中文大学（深圳）、沈阳新松机器人自动化股份有限公司、青岛罗博飞海洋技术有限公司、深海智人（广州）技术有限公司、沈阳紫薇恒检测设备有限公司、哈尔滨工程大学、大连海事大学、大连理工大学、重庆德新机器人检测中心有限公司、广州广电计量检测股份有限公司、南京市特种设备安全监督检验研究院、徐州市检验检测中心、中汽研汽车检验中心（常州）有限公司、深圳市人工智能与机器人研究院、河海大学、中国计量大学。

## 1.3 主要工作过程

### 1.3.1 标准初稿阶段

本标准主要起草单位为中国科学院沈阳自动化研究所，是国内最早开展水下机器人技术研发，并以此为核心研究方向科研机构。从上世纪七十年代末至今，在水下机器人技术领域做出和很多创新和探索，在救助打捞、海洋资源探测、深水油气工程、海洋科学研究、海洋工程等应用领域，已经形成了包括遥控水下机器人、自主水下机器人、自主/遥控水下机器人、水下作业工具等系列实用的水下机器人技术装备。在数十年对水下机器人的研发和生产过程中，技术人员积累的大量试验数据和丰富的试验经

验，也逐渐形成了规范的试验程序。相关技术人员通过归纳、整理和总结，形成了《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》标准草案初稿。

### 1.3.2 标准征求意见稿阶段

标准编写工作组收集了国内外同类产品的相关技术资料，并进行分类整理和分析，为标准编写工作提供了较好的技术支撑。标准编写过程中累计召开线上工作会议2次、分散评审会议1次。历次会议的时间、主要议题及成果如下：

#### 启动会议

全国机器人标准化技术委员会特种设备用机器人分技术委员会（TC591/SC1）在公开征集标准编写工作组成员后，于2021年12月组织召开了标准编写工作启动线上会议，会议决定由中国科学院沈阳自动化研究所主要负责该标准的起草工作。与会专家就标准草案的框架结构、技术细节和格式规划法等方面提出意见和建议。会上共收集各企业、专家提出的意见建议40余条。会后，编制工作组通过调研及查阅相关资料，采纳合理意见和建议，对标准草案重新进行了排版、整理，形成了1稿国家标准草案。

#### 二次会议

2022年9月，标委会组织阶段工作线上会议。会上，编制工作组牵头单位中国科学院沈阳自动化研究所汇报了标准编制及修改情况，并就当前版本标准存在的问题进行了说明。标准起

草组围绕标准范围、术语定义、技术内容等进行逐字逐句的讨论，并进一步梳理，提出意见汇总 10 余条。会后、编制工作组对其中中肯合理的意见进行采纳，重新整理了新版的国家标准草案。

### **分散评审会议**

2022 年 11 月，编制工作组再次向深之蓝海洋科技有限公司、沈阳新松机器人自动化股份有限公司等参编单位的相关专家征集意见，对标准草案开展了一轮评审和梳理，最终形成了本版征求意见稿。

## **2. 标准编制原则、主要内容及其确定依据**

### **2.1 标准编制原则**

在充分考虑试验方法标准的适用性，顺应国内对水下机器人整机及零部件水静压力试验的开展，依据中国 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》的要求，本次《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》国家标准制订的原则是：

**2.1.1 标准的规范性。**无论是标准的行文，还是标准的表现形式，如格式、标点符号、字体、字号、序号等，都严格按照 GB/T 1.1-2020 的要求执行。

**2.1.2 标准的适用性。**标准的价值重在应用，尤其是试验方法标准，要从我国的技术现状出发，需要根据水下机器人技术的发展水平，制订出满足大部分水下机器人企业及机构使用以及未来发展需要的国家标准。

**2.1.3 标准的公正性。**本试验方法标准主要用来指导企业和用户的试验过程。本标准主持起草单位单纯站在客观公正的立场上起草标准的每项条款。

## **2.2 主要内容**

本标准提出了适用范围，列出标准的规范性引用文件和相关术语和定义，对本试验方法标准设计到的试验装置的通用性技术指标提出了具体要求，提出了具体的试验条件、严酷等级和试验流程。

### **2.2.1 范围**

本文件规定了水下机器人水静压力试验方法的试验装置、试验条件、严酷等级和试验流程。

本文件适用于考核或评定包括但不限于在深水、浅水、海水或淡水工作环境下的水下机器人产品整机及其零部件对水压环境的适应能力。

## **2.3 确定依据**

### **2.3.1 试验装置内容确定依据**

水下机器人水静压力试验使用仪表为精密压力表（压力变送器）等量具。本标准中对试验装置要求的提出，参考了 GB / T 1227-2017《精密压力表》，对相应规格的压力表和测量系统，提出了量程和精度等级要求。基于对试验结果溯源性的需要，提出了检定计量相关要求。

考虑现有主流检测设备的技术指标和设备厂家生产技术能力，试验压力波动不宜限制过严，对压力试验系统的波动指标进行限制，以接近±2%目标值偏差作为压力波动范围约束，以保证试验压力恒定。

### 2.3.2 试验条件内容确定依据

#### 2.3.2.1 试验介质

水下机器人的工作环境通常为江、河、湖、海。故为了还原水下机器人整机及零部件的工作环境，试验介质应为淡水或人工配置海水。但使用海水作为试验介质，对试验设备的防腐和维护提出了很高的要求，同时由于海水和淡水对于样品的水压应力的区别不大，故在标准中提出了试验介质若无特殊要求一般使用淡水并保持水质清洁，并能稳定持续供给；试验若有特殊要求，可采用海水或者人工配置海水，也可采用类似液体，试验操作方法可参考淡水。

标准中明确了淡水的温度范围和样品的温度差，同时为进行深海环境低水温压力测试的需求，预留技术空间。

#### 2.3.2.2 试验场地

依据实验室安全操作管理的相关规定，对试验场地、试验安全防护、试验操作人员等提出具体要求。

#### 2.3.2.3 试验环境

依据 GB / T 2421-2020 《环境试验概述和指南》中对试验环境的要求，对试验环境条件进行明确，提出具体要求，便于进行环境条件监控。

#### 2.3.2.4 试验样品

参考 GB/T32065.15-2019 《海洋仪器环境试验方法第 15 部分水压试验》对试验样品提出具体要求，便于进行样品的管控。

### 2.3.3 严酷等级确定的依据

#### 2.3.3.1 试验压力

水密壳体是承受水静压力的结构件。参考 GB1501-2011 《压力容器》以及 GB/T32065.15-2019 《海洋仪器环境试验方法第 15 部分水压试验》中对试验压力的要求，同时根据壳体内容物对整个系统的重要程度，将试验压力定为  $1.2P\sim 1.5P$ ；综合考虑不同类型水下机器人及零部件的不同试验目的，设定了表 1 中的额定试验压力。

表 1 额定试验压力

检测项目	试验压力 $P_n$
结构强度	$1.2P\sim 1.5P$
密封性	$1.1P$
其他	$P$

注 1:  $P_n$  为额定试验压力，即该试验规定的最大试验压力，单位为兆帕 (MPa)；  
注 2:  $P$  为试验样品的设计作业深度下所受的水静压力，单位为兆帕 (MPa)

#### 2.3.3.2 升降压速率



目前已知国内水下机器人的下潜和上浮速度均 $\leq 200\text{m}/\text{min}$ ；液体中的物体受到的水静压力  $P = \rho gh$ 。故水下机器人上浮或下沉时，所受的水静压力每分钟变化量为  $\Delta P = \rho g \Delta h$ ，其中  $\rho \approx 1 \times 10^3 \text{kg}/\text{m}^3$ ,  $g = 10 \text{N}/\text{kg}$ ,  $\Delta h = 200\text{m}$ ，代入  $\Delta P = \rho g \Delta h = 2 \text{MPa}$

根据标准编制会议上，各机构专家的建议，综合考虑了目前不同类型水下机器人的下潜和上浮速度，以及为未来技术发展留有余量，故设定了如下升卸压速率。

升压：应缓慢升压，升压速率应不大于  $4 \text{MPa}/\text{min}$ ，可根据需要分阶段升压。

降压：应缓慢降压，降压速率应不大于  $4 \text{MPa}/\text{min}$ ，可根据需要分阶段降压。

### 2.3.3.3 保压时间

根据积累的测试经验，水下机器人外壳发生漏水现象，通常发生在入水 30min 以内；水下机器人外壳发生结构失稳现象通常发生在达到某试验压力的 3min 以内。故参考 GB/T32065.15-2019 《海洋仪器环境试验方法第 15 部分水压试验》中对保压时间的要求，对水下机器人整机及零部件水静压力试验的保压试验提出如下要求：

达到试验压力的保压时间优选 30 min、2 h、8 h、16 h、24 h，但不应小于 30 min。

#### 2.3.3.4 循环次数

对于工作时需要上升下潜数次的样品，水下机器人及其零部件往往会承受水压的交变应力，参考 GB/T32065.15-2019《海洋仪器环境试验方法第15部分水压试验》，提出循环次数优选3、6、9、12，但不应低于3次，各循环间隔时间不应小于5 min。

#### 2.3.4 试验流程确定的依据

水下机器人整机及零部件的水静压力试验流程，参考了 GB/T 20001.4—2015《标准编写规则 第4部分：试验方法标准》以及 GB/T 32065.15-2019《海洋仪器环境试验方法第15部分水压试验》，规定的试验流程为预处理、初始检测、试验步骤、过程检测、恢复、最后检测。

### 3.预期的经济效益、社会效益

国家标准《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》是检验设备对水静压力适应性的一类环境试验。通过向密闭的压力试验筒内加压，模拟随水深不断增加的水静压力，达到检验设备密封性和结构强度的目的，是水下设备特有的、必不可少的可靠性检验环节。但因为相关标准的缺失，导致水下机器人在试验过程中缺少明确的试验设计原则和统一、规范的试验方法指导。因此急需制定相关环境试验方法。该标准的制定将为水下机器人产品的可靠性提供技术支撑，填补我国水下机器人水静压力试验方法和检验规则的空白，对提高该类产品的质量和

整机稳定性，提升国际竞争力有着深远的影响。

#### **4. 与国际、国外同类标准的技术内容的对比情况**

无。

#### **5.是否引用或采用国际国外标准**

未引用或采用国际国外标准。目前，水下机器人整机及零部件尚无关于水静压力试验方法的国内标准、国际标准。国内水下机器人研究机构、厂商内部通常参考 GB/T32065.15-2019《海洋仪器环境试验方法第 15 部分水压试验》制定相应试验规范，但是由于不同规格、不同产品种类的侧重点不同，虽具有一定的参考借鉴价值，但无法形成统一的、适用于整个行业的试验方法。

#### **6. 与有关法律、行政法规及相关标准的关系**

本标准与现行法律、法规及标准协调一致。标准的制定贯彻了国家有关标准化方面的有关法律和法规要求。

#### **7. 重大分歧意见的处理经过和依据**

无。

#### **8. 涉及专利的有关说明**

无。

#### **9. 实施国家标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议**

建议标准自发布后 6 个月实施。

本标准将在实施的过程中总结经验，持续改进和完善。

## 10. 其他应当说明的事项

本标准不涉及知识产权。