

中华人民共和国海洋行业标准

HY/T XXXXX—XXXX

载人潜水器结构部件检测与维护指南

Guidelines for structural components detection and maintenance of manned  
submersible

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

(报批稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

# 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 指导建议 .....	2
4.1 检测 .....	2
4.2 维护 .....	3
5 检测 .....	3
5.1 载人球壳 .....	3
5.2 观察窗 .....	3
5.3 出入舱口盖及启闭机构 .....	4
5.4 贯穿件 .....	4
5.5 小直径耐压球和耐压罐 .....	4
5.6 载体框架 .....	4
5.7 浮力块及轻外壳 .....	4
6 维护 .....	5
6.1 载人球壳 .....	5
6.2 观察窗 .....	5
6.3 出入舱口盖及启闭机构 .....	5
6.4 贯穿件 .....	5
6.5 小直径耐压球和耐压罐 .....	6
6.6 载体框架 .....	6
6.7 浮力块及轻外壳 .....	6
附录 A （资料性） 潜水器结构件检测维护表格式 .....	7
表 A.1 潜水器维护维修工作记录表 .....	7
表 A.2 观察窗压力测试记录表 .....	8
表 A.3 出入舱口盖密封测试记录表 .....	9
表 A.4 压力筒试验加/卸压记录表 .....	10
表 A.5 出筒检查表 .....	11
表 A.6 浮力块吸水率与体积收缩率试验记录表 .....	12

## 前 言

本文件按照GB/T1.1-2020《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。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国海洋标准化技术委员会（SAC/TC 283）归口。

本文件起草单位：国家深海基地管理中心、中国大洋矿产资源研究开发协会、国家海洋标准计量中心、江苏省特种设备安全监督检验研究院。

本文件主要起草人：张奕、丁忠军、李向阳、顾然、秦升杰、刘鸿翔、王颖。

# 载人潜水器结构部件检测与维护指南

## 1 范围

本文件提供了载人潜水器日常维修、中修、大修工作过程中主要结构部件检测和载人潜水器日常、潜次后、航次后维护工作中主要结构部件维护的指导。

本文件适用于载人潜水器载人球壳、观察窗、出入舱口盖、小直径耐压球壳和耐压罐、载体框架、轻外壳等结构部件的检测与维护。

## 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。

NB/T47013.1-2015 承压设备无损检测第1部分：通用要求

NB/T47013.2 承压设备无损检测第2部分：射线检测

NB/T47013.3 承压设备无损检测第3部分：超声检测

NB/T47013.5 承压设备无损检测第5部分：渗透检测

ASME PVHO-1-2019 载人压力容器安全性标准（Safety Standard for Pressure Vessels for Human Occupancy）

ASME PVHO-2-2019 载人压力容器安全性标准：指南（Safety Standard for Pressure Vessels for Human Occupancy: In-Service Guidelines）

潜水系统和潜水器入级规范，中国船级社，2018。

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**载人球壳** manned spherical pressure hull

能够承载下潜人员及设备到指定深度的耐压密封球形壳体。

### 3.2

**启闭机构** opening and closing mechanism

能够人为开启、关闭人员出入舱口盖并保证舱口密封性的机械装置。

### 3.3

**小直径耐压球壳** minor diameter spherical pressure hull

指载人潜水器其直径尺寸相对于载人球舱小的耐压壳体。

### 3.4

**耐压罐 pressure tank**

用于封装载人潜水器部分电子设备的圆柱形承压结构。

### 3.5

**载体框架 carrier framework**

指载人潜水器上用于安装设备及潜水器起吊的空间桁架结构。

### 3.6

**浮力块 buoyancy modules**

由浮力材料粘接而成并根据总体要求加工成一定形状，能够为潜水器提供浮力的部件。

### 3.7

**轻外壳 hydrodynamic fairing**

潜水器上的一种用来形成并保持潜水器的外形，并能保护安装在内部的设备的一种非耐压结构。

### 3.8

**设计水深 design depth**

作为设计要求提出的载人潜水器最大作业水深。

### 3.9

**中修 medium repair**

从潜水器建造完成投入使用之日起，每5年进行一次的全面检查维修。

### 3.10

**大修 overhaul**

从潜水器建造完成投入使用之日起，每10年进行一次的全面检查维修。

## 4 指导建议

### 4.1 检测

4.1.1 结构部件检测的类型根据实施检测的工作阶段决定，一般分为日常检测、潜水器中修检测、潜水器大修检测。

4.1.2 检测工作之前，制定详细的检测操作规程。

4.1.3 检测合格的所有工件上宜作永久或半永久的标记。工件上不适合打印标记时，可采取详细的检测草图或其他有效方式标注。

4.1.4 所有检测工作形成记录文件，填写《潜水器维护维修工作记录表》，参见表 A.1，建档留存备查。

4.1.5 从事潜水器结构部件检测的人员宜经过专门培训，或在专业人员指导下完成相关工作。从事无损检测人员，宜参考 NB/T47013.1-2015 中 4.1 关于检测人员的有关规定。从事焊接修复的人员，宜持有相关专业技术证书。

4.1.6 结构件进行焊缝渗透检测时宜按照 NB/T47013.5 规定执行，检测结果满足 I 级合格要求、超声检测宜按照 NB/T47013.3 规定执行，检测结果满足 I 级合格要求、射线检测宜按照 NB/T47013.2 规定执行，检测结果不低于 II 级合格。

## 4.2 维护

4.2.1 结构部件维护的类型分为日常维护、潜次后维护、航次后维护。

4.2.2 结构部件维护工作宜按照载人潜水器设计图纸和使用说明书开展。

4.2.3 设备或部件的更换原则上使用原品牌和型号产品，如更换品牌和型号，宜进行系统安全评估及严格地测试检验。

4.2.4 结构部件维护人员经过专门培训，或在专业人员指导下完成相关工作，维护工作完成后填写《潜水器维护维修工作记录表》，参见表 A.1。

## 5 检测

### 5.1 载人球壳

5.1.1 潜水器出航检测、中修检测期间，宜按照载人球壳的制造材料根据相应的检验操作规程对载人球壳进行结构安全性检测。对于钛合金等金属材料的载人球壳按 NB/T47013.2、NB/T47013.3、NB/T47013.5 对焊缝进行渗透、超声及射线无损检测。

5.1.2 潜水器大修检测期间，宜对载人球壳进行全面检测，对于金属材料载人球壳需进行焊缝渗透、超声及射线无损检查。如有需要宜对载人球壳进行真球度、厚度等检测，以判断载人球壳结构完整度。

5.1.3 潜水器大修检测期间，宜对载人球壳进行气密性测试，内压不超过 0.05MPa，要求无气体泄漏。

5.1.4 潜水器大修检测期间，如条件允许宜对球体进行静水压力测试，对载人球壳的技术状态进行全面评估。压力测试宜模拟潜水器下潜、巡航作业、上浮按加压、保压和卸压的过程进行，试验压力按照水深不同可参照中国船级社《潜水系统和潜水器入级规范》（2018）中 2.5.5.14 耐压试验要求。

### 5.2 观察窗

5.2.1 潜水器出航检测期间（或更换观察窗后），宜对潜水器所有观察窗进行压力密封测试，填写《观察窗压力测试记录表》，参见表 A.2。

5.2.2 潜水器中修检测期间，宜拆检观察窗和观察窗防护装置，清洗观察窗玻璃和窗座，更换密封圈，重新按要求安装后进行压力密封测试，测试压力宜选取 1MPa。

5.2.3 潜水器大修检测期间，宜更换观察窗及相关配件，新观察窗重新安装后进行压力密封测试，并填写《观察窗压力测试记录表》，参见表 A.2。

5.2.4 在役观察窗超过保质期后及时更换观察窗。

5.2.5 潜水器观察窗玻璃的检验还宜符合 ASME PVH0-1-2019 中的 2-5 以及 ASME PVH0-2-2019 中的 2-4 有关要求。

### 5.3 出入舱口盖及启闭机构

5.3.1 潜水器出航检测期间（或对出入舱口盖进行零部件更换等维修后），对舱口盖的密封性、位置准确性进行检验，宜根据出入舱口盖的图纸及使用规范，进行印痕试验及塞尺试验，并填写《出入舱口盖密封测试记录表》，参见表 A.3。

5.3.2 潜水器出航检测期间，宜对启闭机构的机械性能、工作状态进行检验，并对检验结果进行记录。

5.3.3 潜水器中修、大修检测期间，宜对启闭机构进行拆检，更换润滑油，更换密封件，更换受损紧固件。按照相关要求重新安装启闭机构后，对舱口盖的密封性、位置准确性进行试验检验，宜进行印痕试验及塞尺试验，并填写《出入舱口盖密封测试记录表》，参见表 A.3。

### 5.4 贯穿件

潜水器出航检测期间，宜对贯穿件紧固情况进行检查。

### 5.5 小直径耐压球和耐压罐

5.5.1 潜水器出航检测宜对球壳及罐体外表面、密封面、焊缝部位进行目视检查，更换密封件，如发现缺陷宜采取渗透检测等无损检测手段进一步判断其性能状态。

5.5.2 在潜水器中修、大修检测期间，宜对所有球壳和罐体焊缝进行无损检测，更换密封件，并进行静水压力测试，测试流程可参照 5.1.4，试验过程及结果记录至《压力筒试验加/卸压记录表》、《出筒检查表》中，参见表 A.4、表 A.5。

### 5.6 载体框架

5.6.1 潜水器出航检测期间，拆卸载人潜水器全部外壳和部分设备后，宜对载体框架进行目视宏观检查（包括坐底支架、蓄电池箱等结构部件），对损伤处进行评估并修复。

5.6.2 潜水器出航检测期间，对框架重点部位进行渗透检测（包括坐底支架、蓄电池箱等结构部件），渗透检测标准参照 NB/T47013.5 标准要求，对检测出的焊缝缺陷进行修复，并在修复 48h 以后重新进行渗透检测。焊缝同一部位的返修次数不宜超过 2 次。

5.6.3 潜水器中修、大修检测期间，宜对整个框架变形情况进行评估，必要时进行调整及修复。

### 5.7 浮力块及轻外壳

5.7.1 潜水器出航检测期间，宜拆卸全部浮力块和轻外壳，在拆卸过程中检查浮力块预埋件和紧固件，检查轻外壳安装支架上的螺纹孔。

5.7.2 潜水器出航检测期间，宜采用目测检测方式对所有浮力块和轻外壳进行外观检查，对损伤部位进行修补；对修复后的浮力块进行静水压力测试，并作相应记录。

5.7.3 在潜水器中修及大修检测期间，宜对所有浮力块和轻外壳进行检查，对损伤部位进行修补，取样进行密度和压力测试，填写《浮力块吸水率与体积收缩率试验记录表》，参见表 A.6。

## 6 维护

### 6.1 载人球壳

6.1.1 日常维护工作中，载人球壳日常存放地点宜满足球壳材料对环境要求，避免尖锐物品接触载人球壳；针对高湿度、高盐度、强光照等海上恶劣环境，宜采取必要的防护措施。

6.1.2 潜次后维护工作中，用淡水冲洗载人球壳。

6.1.3 各阶段维护工作中，对载人球壳进行全面目视检查，如发现缺陷宜采用其他检测手段进一步判断载人球壳的性能状态。

### 6.2 观察窗

6.2.1 日常维护中，保持观察窗表面清洁，根据观察窗材料用合适的干布将窗玻璃内外表面擦拭干净。

6.2.2 观察窗尽量避免处于高温、阳光直射的环境中，避免接触尖锐物品等。对于已经拆卸的观察窗，擦净窗玻璃，用绒布等包裹窗玻璃后放到专门的备品备件箱中固定存放，避免磕碰。存放观察窗的室温宜保持在 $-20^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 98%，室内不宜同时存放化学制品。

6.2.3 定期检查观察窗密封件，对失效或者超过保质期的密封件进行更换。

6.2.4 观察窗装在潜水器上时宜加装专门的保护罩。

6.2.5 潜水器下潜前宜将观察窗保护罩移除，目视检查观察窗内外表面，一旦发现窗表面有缺陷宜采取措施进行补救。

6.2.6 下潜结束后，用清洁淡水冲洗窗玻璃外表面及相关配件，避免海水蒸发后，在窗玻璃表面留下海盐等沉淀物。冲洗后，确保窗玻璃表面无砂子、碎片和其他颗粒物。

6.2.7 下潜结束后，仔细检查观察窗内外表面有无新增划痕，如果有宜根据划痕的位置及程度对观察窗的性能进行研判，并进行详细记录。

6.2.8 更换观察窗玻璃后及时更换密封圈。

6.2.9 潜水器观察窗玻璃的维护还宜符合中国船级社认可的 ASME PVHO-1-2019 中的 2-5 以及 ASME PVHO-2-2019 中的 2-4 有关要求。

### 6.3 出入舱口盖及启闭机构

6.3.1 潜水器下潜前，检查舱口盖密封件是否有损伤，若发现损伤痕迹，宜更换，并做好记录。

6.3.2 关闭舱口盖前确认密封面没有任何杂质、水迹等。

6.3.3 潜水器返航后开启舱口盖前宜用淡水将舱口盖周围的泥沙、海水等冲洗干净。

6.3.4 有效寿命到期的橡胶制品宜更换，并做好相应记录。

6.3.5 宜定期用润滑脂涂抹所有摩擦件。

6.3.6 宜定期将所有螺纹件涂抹石墨润滑剂。

6.3.7 宜定期检查启闭机构中的润滑油。



6.3.8 舱口盖检查和维修时，不宜在易燃物（包括苯、润滑剂、抹布、聚乙烯等）附近区域进行焊接、吸烟和其他任何会产生明火的操作。

6.3.9 当舱口盖长期不使用时，宜根据日常维护和修理规程，适时的检查舱口盖，确保舱口盖可以有效工作。

#### 6.4 贯穿件

6.4.1 如果贯穿件开孔与水密电缆接头密封，宜在水密电缆接头进行拆卸、安装时，注意密封面不受损伤。

6.4.2 在电缆拆除后，宜用闷头封住开孔进行保护。

6.4.3 宜定期目视检查，确认舱内表面没有水。

6.4.4 宜定期更换相应密封部件。

#### 6.5 小直径耐压球和耐压罐

6.5.1 宜定期对耐压球和罐体进行清洗维护，对密封面进行检查，更换密封件。

6.5.2 海上作业期间如对罐体进行拆卸，宜在干燥、低温环境下进行罐体拆卸与复装作业，对罐体及配件用酒精进行清洗，视情况更换密封件，注意保持罐体干燥。

#### 6.6 载体框架

6.6.1 潜水器下潜结束后应及时对载体框架进行淡水清洗。

6.6.2 宜避免不同材料焊接，避免框架与其他金属材料长期接触，以免引起腐蚀。

6.6.3 在没有科学论证情况下，不宜任意对框架开孔、焊接等，以免引起框架的强度、刚度的不足或焊接变形。

6.6.4 宜在潜水器允许的海况要求下进行布放回收作业，减少载体框架的损伤。

6.6.5 宜定期对框架上的螺栓连接件进行检查，避免螺栓松动。

6.6.6 母船系固时宜保持潜水器底座与甲板平台充分接触，接触面积不小于总面积的 2/3，不建议偏斜放置。

6.6.7 潜水器布放回收及转运过程中宜尽量保持平稳。

##### 6.6.8 浮力块及轻外壳

6.6.9 浮力块宜远离火源。

6.6.10 潜水器转运吊放及浮力块吊放过程尽量平稳，避免磕碰。

6.6.11 宜定期检查潜水器上的浮力块安装是否牢固，潜水器下潜前宜进行复检。

6.6.12 拆卸下的浮力块宜避免直接与硬物接触。

6.6.13 轻外壳等结构部件宜定期检查，如有损伤宜进行修补。

6.6.14 潜水器下潜结束后应及时用淡水冲洗浮力块表面。

附 录 A  
(资料性)  
潜水器结构件检测维护表格式

潜水器结构件检测维护过程中所需表格见表A. 1～表A. 6。

表A.1 潜水器维护维修工作记录表

分系统：\_\_\_\_\_

起止时间		地点	
参与人员			
主要工作内容			
工作流程			
<p>(主要说明维护维修的步骤、维修后的技术状态、中途遇到的困难及解决的方式等问题。)</p> <p style="text-align: right;">(可附页)</p>			
操作人		审核人	

表 A.2 观察窗压力测试记录表

测试时间		测试地点	
观察窗编号		测试压力值	
测试内容			
(描述测试流程、结果、出现的问题、解决措施等)			
操作人			
审核人			

表 A.3 出入舱口盖密封测试记录表

测试时间				测试地点			
测试内容							
塞尺试验 (描述测试流程、结果、出现的问题、解决措施等)							
外部				内部			
0°	90°	180°	270°	0°	90°	180°	270°
印痕试验 (描述测试流程、结果、出现的问题、解决措施等)							
操作人							
审核人							

表 A. 4 压力筒试验加/卸压记录表

试验程序		要求时间	开始时刻	结束时刻	备注
加压					
保压					
卸压					

测试负责人：

日期：

记录人：

日期：

审核人：

日期：

表 A.5 出筒检查表

序号	设备名称	是否完好	备注

测试负责人：

日期：

记录人：

日期：

审核人：

日期：

表 A.6 浮力块吸水率与体积收缩率试验记录表

试验编号		试验日期	
浮力块编号			
测试压力值			
环 境	天 气		
	水 温 (°C)		
	气 温 (°C)		
时 间 记 录	入水时间		
	开始加压		
	保压时间		
	减压时间		
数 据 记 录	浮力块空气中重量 $M_0$		kg
	工装、压铁水中重量 $F_2$		N
	工装、压铁及浮力块水中重量 $F_1$		N
	加压后工装、压铁及浮力块水中重量 $F_4$		N
	加压后浮力块空气中重量 $M_1$		kg
备 注	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$		
计 算	浮力块水中浮力: $F_3 = F_2 - F_1$		N
	浮力块水中排水量: $V_0 = M_0 + F_3/g$		kg
	打压后水中浮力: $F_5 = F_4 - F_1$		N
	打压后浮力块排水量: $V_1 = M_1 + F_5/g$		kg
结 果	吸水率: $\eta = \frac{\Delta M}{M_0} = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100\%$		
	体积收缩率: $\delta = \frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \times 100\%$		
签 字 确 认	岗 位	姓 名	日 期