

中国潜水打捞行业团体标准

T/CDSA-305.20-2017

海上平台水下检测操作规程

Operating procedure for underwater inspection of offshore platform

2017-3-15 发布

2017-3-15 实施

中国潜水打捞行业协会 发布

目 次

前言.....	III
引言.....	IV
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语、定义及缩略语.....	1
3.1 术语和定义.....	1
3.2 缩略语.....	2
4 水下目视检测.....	2
4.1 总则.....	2
4.2 检测范围.....	3
4.3 人员和设备要求.....	3
4.4 检测准备.....	3
4.5 检测程序.....	3
4.6 记录与报告.....	3
5 超声波测厚.....	4
5.1 总则.....	4
5.2 检测范围.....	4
5.3 人员和设备要求.....	4
5.4 校准程序.....	5
5.5 检测准备.....	5
5.6 检测程序.....	5
5.7 记录与报告.....	5
6 水下磁粉检测.....	5
6.1 总则.....	5
6.2 检测范围.....	5
6.3 人员和设备要求.....	5
6.4 校准程序.....	6
6.5 检测准备.....	6
6.6 检测程序.....	6
6.7 记录与报告.....	7
7 水下电位测量.....	7
7.1 总则.....	7
7.2 检测范围.....	7
7.3 人员和设备要求.....	7
7.4 校准程序.....	8
7.5 检测准备.....	9

7.6 检测程序.....	9
7.7 记录与报告.....	9
8 结构 ACFM 裂纹检测	9
9 杆件进水检测.....	9
参考文献.....	10

前 言

本部分按照GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由水下应急救援专业委员会提出，由中国潜水打捞行业协会归口管理。

本标准起草单位：海洋石油工程股份有限公司维修公司。

本标准主要起草人：袁汝华、潘东民、边大勇、陈勇、张大伟、刘凯。

引 言

水下检测已经广泛应用于海洋工程水下结构中，但目前针对该工艺仍没有统一的操作规程。海洋石油工程股份有限公司维修公司主要参考中华人民共和国《海上固定平台安全规则》、挪威船级社(DNV)规范标准、中国船级社(CCS)规范标准、美国石油协会(API)规范标准、美国船级社(ABS)规范标准等入籍标准有关内容，编制了《海上平台水下检测操作规程》，以下简称本规程。

本规程的目的是通过推荐和建议水下检测的适用范围、操作规程、无损检测人员资格、系统设备和校准方法，以统一水下检测工艺，保证水下检测的正确实施和评定，确保检测质量。

海上平台水下检测操作规程

1 范围

本规程规定了水下目视检测、水下超声波测厚、水下磁粉检测、水下电位测量、交流电磁场检测（ACFM）、进水构件探测（FMD）几种水下检测方式的适用范围、无损检测人员资格、系统设备、校准方法和操作规程等内容，以统一水下检测工艺，保证水下检测的正确实施和评定。

本规程适用于导管架、海管、船舶等海洋工程水下结构物无损检测实施要求。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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。

《海上固定平台安全规则》——国家经贸委

《无损检测人员资格鉴定与认证规范》——中国船级社（CCS）

《水下钢结构交流电磁场裂纹检测规程》——中国潜水打捞行业协会

《水下钢结构杆件进水检测规程》——中国潜水打捞行业协会

3 术语、定义及缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

无损检验 `nondestructive testing`

在不损害被检对象使用性能的前提下，通过专用工具或目视观测对被检对象的物理性能、质量（包括外观和内部质量）进行评价的工作。

3.1.2

普通外观检测 `general visual inspection`

对水下结构做整体概貌性检查，需要对所有主要构件及次要构件做检测，不需要清理表面海生物，发现异常应作特别录像并进一步做详细检查。

3.1.3

近距离目视检测 `close visual inspection`

探明结构隐藏性的缺陷/损伤，需用皮尺、量具、刮刀等工具进行探测和测量。对第一类检测中发现的缺陷及时出具可靠的数据和参考资料，并对第三类检测提供依据。

3.1.4

超声波测厚仪 `ultrasonic thickness gauge`

根据超声波在材料或被检件中的传播时间或产生共振的原理设计的、用于丈量材料或被检件厚度的仪器。

3.1.5

磁粉检测 magnetic particle testing

磁粉探伤

利用漏磁场与磁粉来检测铁磁性材料表面和近表面不连续的一种无损检测方法。

3.1.6

退磁 demagnetization

使磁化后的铁磁性材料或工件上的剩磁减弱到可接受的水平。

3.1.7

保护电位 protection potential

金属腐蚀速率小得无关紧要时的构筑物对电解质电位。

3.1.8

参比电极 reference electrode

在类似测量条件下，开路电位恒定不变的电极，用于测量构筑物对电解质电位。

3.1.9

交流电磁场检测 alternating current field measurement

一种通过测量所施加的交流电均匀磁场变化来发现与测量金属表面裂纹缺陷的无损检测技术。

3.1.10

进水杆件探测 flooded member detection

使用超声波或射线探测构件内是否有水，依此来判断是否存在穿透型裂纹或其它使水渗到构件内部的检测技术。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ACFM: 交流电磁场检测 (Alternating Current Field Measurement)

CVI: 近距离目视检测 (Close Visual Inspection)

FMD: 进水杆件探测 (Flooded Member Detection)

GVI: 普通外观检测 (General Visual Inspection)

MPI: 磁粉检测 (Magnetic Particle Inspection)

NDT: 无损检验 (Nondestructive Testing)

UWMPI: 水下磁粉检测 (Underwater Magnetic Particle Inspection)

UTM: 超声波测厚 (Ultrasonic Thickness Measurement)

4 水下目视检测

4.1 总则

水下目视检测主要分为GVI和CVI。水下目视检测实施时要求辅以水下录像作为记录，对一些关键部位还要进行水下静态照相。

4.2 检测范围

本程序适用于水下结构物的目视检测，包括Ⅰ类检测和Ⅱ类检测，主要有：

- a) 机械损伤：包括凹陷、弯曲、裂缝、划痕等外观目视检测；
- b) 局部腐蚀：通常是管节点、防腐保护层、焊缝区域、飞溅区域外观目视检测；
- c) 海生物测量：记录不同水深海生物的厚度、种类和覆盖范围；
- d) 冲刷程度：桩腿、桩靴、立管海床附近区域目视检测；
- e) 立管检查：弯管，法兰，卡子等部位外观目视检测；
- f) 阳极块检查：阳极的总体情况、白色覆盖物、阳极消耗率、损伤情况、破裂情况等目视检测；
- g) 其它：导管架海床周围的杂物目视检测。

4.3 人员和设备要求

4.3.1 人员要求

从事水下目视检测的人员应具备海上设施、船舶结构的相关知识，熟悉必要设备的操作，至少有一年的岗位培训和相应的工作经历，具有经国家认可机构颁发的水下目视检测资格证书；从事水下操作的人员即为潜水员，还应具有由国家主管机关签发的有效的潜水员证书。

4.3.2 设备要求

根据检测的方法和内容以及业主要求选择必要的检测设备。主要包括潜水设备、水下双通道通讯设备、水下闭路电视、水下照相机等。

4.4 检测准备

按照检测计划做好如下检测前准备工作：

- a) 落实人员，明确职责：组成检测小组，指派潜水监督、潜水员、水下检验人员和其他水面配合人员，明确岗位职责；
- b) 设备安装、检查与调试：配备落实检测作业所要求的检测设备、潜水装具、供电供气通风系统及其它辅助设备，并进行全面检查，对检测设备要求进行现场校核与记录；
- c) 配备应急救护系统现场待命；
- d) 检测区域标记；
- e) 对被检部位如管接点、焊缝或其他有关部位采用时钟等编号方法划定并标记检测区域；
- f) 水下清理，一般采用高压水射流方法或手动清理工具清理待检结构物表面的有机物、腐蚀生成物和关键区的涂层。

4.5 检测程序

在业主代表及潜水监督的现场监督下，按照检测方案和操作规程要求对被检部位进行检测，检测过程利用水下监视系统录像和水下照相机拍照，并做好书面记录。

4.6 记录与报告

记录与报告应包括：

- a) 原始记录（包括草图、潜水员第一手报告、照片、录像）并阐明：所检测/检验区域的标识、准备检测/检验的方法和工艺参数、灵敏度检验方法、所用的检测设备、检测/检验的结果/处理方法等；

- b) 检验报告的格式（参考不同的检测手段采用不同的格式）；
- c) 规范和专业化的报告由持有无损检测二级资格证书及以上人员填写和编制，同时必须经过业主代表的签字认可；
- d) 将所有的检测作业涉及到的资料（包括仪器设备检验记录、检测原始记录、检测报告等）编制成完整的文件并立卷，一式数份，按合同要求分别交付给业主、船级社和有关各方，并按规定进行存档、保管；
- e) 报告的内容应包括：
 - 1) 业主名称；
 - 2) 被检对象的名称；
 - 3) 检验地点；
 - 4) 检验范围；
 - 5) 使用的标准、规范；
 - 6) 检验水深、能见度、水温、水流等；
 - 7) 使用的设备（序列号、证书）；
 - 8) 检验前后的校核记录；
 - 9) 日期；
 - 10) 检验结果、数据、描述、图纸；
 - 11) 水下检测潜水员签字；
 - 12) 记录员签字；
 - 13) 水下检验潜水监督签字；
 - 14) 业主代表签字；
 - 15) 第三方或其他有相应权限的人员签字。

5 超声波测厚

5.1 总则

使用超声波测量已知声速材料壁厚时，结构物表面已有腐蚀的情况下，探头与结构物之间的水层会导致超声波测厚仪给出错误的读数，可采取忽略第一次脉冲回波或者将结构物表面打磨光滑等方法修正。同时，与金属杂物有接触的区域、暴露区域都是容易腐蚀，壁厚减薄的区域。

5.2 检测范围

本章节适用于水下钢结构物的UTM。

5.3 人员和设备要求

5.3.1 人员要求

从事水下测厚操作人员应具有海上设施、船舶结构的相关知识，熟悉超声波测厚设备的操作，至少有一年的岗位培训和相应的工作经历，具有国家认可机构颁发的水下测厚资格证书。从事水下测厚操作的人员即为潜水员，还应具有由国家主管机关签发的有效的潜水员证书。

5.3.2 设备要求

水下超声波测厚设备必须满足相关规范标准要求，设备性能在以下方面需要经过相应船级社认可：

- a) 水密性和耐水压性：沉浸于水下的显示器，必须具备较好的密封性能和耐水压性能。

- b) 安全性：水下超声波测厚设备必须在沉浸条件下可正常地工作，要保证设备具备良好的安全性能，如壳体耐压性，绝缘性能，水中导电性等。
- c) 技术性能：仪器应在实验室条件下经过验证，确保有关技术性能满足要求。
- d) 环境适应性：超声检测系统和部件设计必须适应其所在的工作环境条件。
- e) 可操作性：水下超声设备通常设计为少按钮且容易识别，便于水下操作和校准。每台设备都应有相应的操作手册（通常应包括装备、仪器、应用范围、限制条件以及影响该装备应用的设计准则的说明）和校准程序。

5.4 校准程序

设备应定期进行校准，每次使用前对设备进行现场校验并记录：

- a) 使用钢块校准，不需要预热；
- b) 测厚前后均应对仪器进行校正；
- c) 使用多次反射技术的超声波测厚仪自动调零，接收第一个反射开始计时，不必手动校零；
- d) 使用单晶探头的超声波测厚仪，不必修正距离；
- e) 无论读数是否可疑，都要检查测试物质是否与校准物质相同。

5.5 检测准备

使用高压水或者手动清理工具清除待测区域全部有机物、海生物和涂层，一般不需要打磨。使探头与探测面良好接触，如不能得到预期的结果，应多选择几个点测量，仍不能达到接触良好时，请示现场业主代表或其他有相应权限的人员，得到允许后，进行打磨。

5.6 检测程序

在按照要求将杆件测点表面清理完毕后，检测时每一直径截面在3, 6, 9, 12点钟位置各测三次，并求出其平均值。需要注意的事项：

- a) 当检测的结果与预期的厚度差别很大时，应检查仪器或更换位置测量。
- b) 测管件厚度时，应特别注意保持良好的接触。
- c) 测腐蚀区域时，采用表格状方式选点。

5.7 记录与报告

记录和报告的要求按照 4.6 的要求。

6 水下磁粉检测

6.1 总则

与陆上常规MPI方法相同，UWMPI仅适合于对检测铁磁性材料表面或近表面的缺陷。对于固定平台等海洋工程钢结构，使用UWMPI的主要目的在于检测其表面的危险性缺陷，包括：

- a) 扩展的裂纹（由于疲劳会进一步扩展）；
- b) 由于机械作用或过应力引起的裂纹；
- c) 应力腐蚀裂纹等。

6.2 检测范围

本章节适用于水下结构物焊缝裂纹的UWMPI。

6.3 人员和设备要求

6.3.1 人员要求

UWMPI操作人员应具有海上设施、船舶结构的相关知识，熟悉磁粉检测设备的操作，至少有一年的岗位培训和相应的工作经历，具有国家认可机构颁发的UWMPI资格证书。从事UWMPI操作的人员即为潜水员，还应具有由国家主管机关签发的有效的潜水员证书。

6.3.2 设备要求

UWMPI设备必须具有完整的合格证书及相关的校验证书。

6.4 校准程序

为确定磁化规程并保证有足够的检测灵敏度，需要进行灵敏度校准测试，包括：

- a) 提升力校准，每次检验前需要进行提升力校准，在最大磁极间距时应至少具备 4.5Kg 的提升强度。
- b) 一般用已知的裂纹试件或灵敏度试块进行校验；
- c) 对于复杂几何形状的对象（如管节点焊缝）在用触点磁化的情形下，要求必须进行磁场强度测量，需用霍尔探头测试或具有相似精度的仪器来核实磁场强度。
- d) 磁场强度测量可以在水面上进行。

6.5 检测准备

检测前准备工作应按照现场业主代表或其他有权限的人确认后的UWMPI作业计划进行。准备工作主要包括三方面内容：

- a) 落实人员、明确职责：组成检测小组，指派潜水监督、潜水员、UWMPI 人员和其他水面配合人员，明确岗位职责；
- b) 设备安装就位、检查与调试：配备落实 UWMPI 作业所要求的检测设备、潜水装具、供电供气通风系统及其它辅助设备，并进行全面检查，对检测设备则要求进行现场校核与记录。
- c) 配备落实应急救护系统现场待命。

6.6 检测程序

6.6.1 检测区域标记

首先按照检测作业计划中找到所指定的被检管节点、焊缝或其它有关部位，划定并标记出检测区域。

6.6.2 水下清理

可用高压喷水方法完全清理结构件表面全部有机物，腐蚀生成物和关键区域中的涂层，如果需要的话，还要用钢丝刷清理。

6.6.3 磁化方法选择

目前，通常的磁化方法是交流触头磁化法和交流电磁轭磁化法，电缆缠绕法常用于大型构件（如平台的桩腿）。应根据被检构件的实际情况选择最为适合的磁化方法，通常需要考虑以下因素：

- a) 被检构件的形状特征、受力状况、缺陷的种类与方向；
- b) 各种磁化方法的磁场方向、分布状况、检测能力与实施要求；
- c) 设备的体积、操作性能、可携带性以及水下的安全措施等。

6.6.4 灵敏度测定

按照 6.4 校准程序进行灵敏度测定。一般说，UWMPI 所要求的切向磁场强度至少为 2400 至 4000 A/m，才有可能达到规定的检测灵敏度。

6.6.5 实施磁化

通常采用连续磁化方法，磁化的同时必须连续不断地施加磁悬液。需要注意两点：

- a) 磁化的实施应成一定角度交叉进行，以检测各个方向上可能存在的缺陷；
- b) 喷射时最好将喷嘴对准某障碍物使得磁粉缓缓返回，以避免刚刚形成的磁痕被冲散开，并在缺陷漏磁场处形成明显的显示。

6.6.6 磁痕观察

为了有效地观察到缺陷磁痕，必须保证用紫外光源进行观察所需要的黑暗环境（在检查区域周围的可见光强度必须低于10LUX）。在浅水部位检测，环境难以保证的情况下，有时也采用非荧光磁粉探测，观察时周围至少需要500LUX以上照度，通常要采用辅助照明。一旦发现缺陷，应立即报告水面控制人员，同时进行记录。如果进行拍照和录相，应采用微光照相机和录相机，以保证磁痕能够被记录并有足够的清晰度。

6.6.7 缺陷处理

缺陷的验证与处理：经技术负责的检测工程师/业主批准，用轻度打磨方法证实是否有裂纹。确认有裂纹后，进一步向下打磨2至3mm以除去裂纹；如果不能除去，在裂缝两端打1毫米深的标记孔。在完成打磨，并作标记之后，进行拍照以记录裂纹的情况。

6.6.8 退磁

通常情况下，可以通过自然退磁而不需要进行专门退磁处理。但对于重要构件，并且有要求的话，还需要退磁。对于管状构件，一般用线圈缠绕法退磁。注意应不断降低交流电流值，直到零为止。

6.7 记录与报告

记录和报告的要求按照4.6的要求。

7 水下电位测量

7.1 总则

水下电位测量通常至少选择2%阳极数的测点，每个立管上一个测点。管节点、远离阳极的区域及保护层局部损坏的区域都是重点检测区域。水下电位测量主要包括检查和评价两个方面：

- a) 检查、测量水下结构件（钢结构杆件和牺牲阳极）的腐蚀状况和电位读数；
- b) 评价水下结构件的腐蚀损伤情况；
- c) 评价阴极保护系统的性能及保护效果。

7.2 检测范围

本章节适用于水下结构物阴极保护系统的电位测量。

7.3 人员和设备要求

7.3.1 人员要求

从事水下电位测量操作人员，应具有海上设施、船舶结构的相关知识，熟悉电位仪设备的操作，至少有一年的岗位培训和相应的工作经历。从事水下电位检测操作的人员即为潜水员，还应具有由国家主管机关签发的有效的潜水员证书。

7.3.2 设备要求

设备要求如下：

a) 水下电位仪通常采用潜水员操作的电位仪，设备组成及性能要求如下：

参比电极通常是 Ag/AgCl 标准电极；

1) 电极的稳定性应优于 $\pm 1\text{mV}/24\text{h}$ ；

2) 与金属连接的金属触点和基准电极之间的最大距离为 50mm；

3) 金属触点应由防水合金组成，其分解电位与无任何保护措施的不锈钢不同；

4) 金属触点的最大面积为 2cm^2 ；

5) 电位计量程至少应为 -2V 至 2V；

6) 电位计的最小阻抗为 $10\text{M}\Omega$ ；

7) 应适当地显示电池的低电压。

b) 仪器需选择适合的探头，以获得较佳的测量数据；

c) 水下电位仪应包括校验装置，使用的参比电极和标准饱和甘汞电极之间的电位应至少每年校验一次。

7.4 校准程序

7.4.1 校准内容

在潜水员进行电位测量前后以及测量过程中，应对电位仪进行校准，校准内容包括：

a) 电子部分校准检查；

b) 参比电极校准；

c) 锌块试验。

7.4.2 电子部分校准

通过电位仪检测器检查电位仪中的电子部分：

a) 当检测器和电位仪连在一起时，检测器将产生 1.999V 的直流电压。如果电位仪读数在 1.999V 的测试电压外超过 $\pm 10\text{mV}$ ，仪器应送回厂家修理；

b) 检查之前应确保检测器没有故障。

7.4.3 参比电极校准

参比电极校准程序如下：

a) 将电位仪的不锈钢探针拧下；

b) 在参比电极“0”型圈上涂少许硅胶油；

c) 把参比电极拧在线形连接杆上，保证连接紧密和“0”形环放置正确；

d) 将封堵接头装上，并将仪器放入海水中。确保水位覆盖整个前部椎体；

e) 让电极产生的读数稳定在一个电位上（10 到 15 分钟）；

f) 参比电极和内部 Ag/AgCl 电极之间产生的电压差将显示在电位仪的显示屏上，无故障的电压值应为 $+4\text{mV} \pm 5\text{mV}$ （ 20°C ）。

7.4.4 锌块试验

使用锌块快速的检查水下电位仪：

a) 由于不同地点的盐度不同，以及海水温度的变化，读数很可能出现 10mV 的误差。25℃环境温度的 3%的盐溶液作为参考，测量的读数应为：

$$\text{Zinc(Zn)} = 1.00 - 1.05\text{V} .$$

b) 将电位仪浸入海水中 2 小时。盐溶液的浓度以及试块的状态对读数有很大的影响，失去光泽的试块产生的读数比干净试块产生的读数低。不要将试块留在海水中，用后应拿出。

7.5 检测准备

检测前，应进行以下准备：

- a) 钢结构杆件：测量前应将钢结构待测点表面水生物、腐蚀污垢和碎片按照要求清理干净至露出金属本体。当探头与钢结构之间连接完好时，读数应迅速变负，否则，应进一步清理或校正仪器；
- b) 牺牲阳极：阳极电位测量方法与钢结构杆件类似，需先将牺牲阳极待测点表面清理干净至露出金属本体，探头与牺牲阳极接触良好时，读数应迅速变负，否则应进一步清理或校正仪器。

7.6 检测程序

7.6.1 钢结构的电位测量

钢结构的电位测量程序如下：

- a) 测量时，测量电极的金属探头对准被测钢结构表面要测量的点，保证其有良好的接触，以减少在海水中的电位降，使电位数据正确的反应在仪器上。
- b) 钢结构的测点应选取在两块阳极（或四块阳极）之间，测量位置应尽量远离牺牲阳极，或按业主指定的位置测量。
- c) 钢结构的保护电位应在 -800mV 至 -1100mV 之间（相对于 Ag/AgCl 标准电极）。保护电位高于 -800mV 结构将腐蚀，保护电位低于 -1100mV 结构将产生析氢现象。正确测量记录数据，发现异常电位应每隔 0.5m 进行测试，并且逐个测点记录。

7.6.2 牺牲阳极的电位测量

牺牲阳极的电位测量程序如下：

- a) 测量时，应使测量电极的金属探头，对准被测阳极表面要测量的点，保证其有良好的接触，以尽量减少在海水中的电位降，使电位正确地反应在仪器上；
- b) 在阳极上、中、下（或左、中、右）分别取点测量，最终得到三个数据；
- c) 所测量的数值应大体一致，如果有较大差异应重新测量，准确测量后将结果数据向水面报告并记录。阳极块上的电位值是 -1000mV 至 -1100mV 之间（相对于 Ag/AgCl 标准电极）。

7.7 记录与报告

记录和报告的要求按照4.6的要求。

8 结构 ACFM 裂纹检测

海洋工程结构物焊缝表面缺陷ACFM的技术方法及相关要求按中国潜水打捞行业协会《水下钢结构交流电磁场裂纹检测规程》规定的内容执行。

9 杆件进水检测

海洋工程结构物水下钢结构密封杆件进水检测（FMD）的相关要求按中国潜水打捞行业协会《水下钢结构杆件进水检测规程》规定的内容执行。

参 考 文 献

- [1] 《无损检测人员资格鉴定与认证规范》，中国船级社，2008
- [2] 《海上固定式钢质石油生产平台的腐蚀控制》，国家石油和化学工业局，2000
- [3] 《焊接结构现代无损检测技术》李生田. 刘志远. 机械工业出版社. 1999. 12
- [4] 《海上结构物IMR工程技术概论》石理国，刘志宇
- [5] 《阴极保护设计规范DNV-RP-B401》挪威船级社（DNV）
- [6] Designation No. : E2261-03 《Standard Practice for Examination of Welds Using the Alternating Current Field Measurement Technique》, ASTM
- [7] 《Guide for Nondestructive Inspection of Hull Welds》 2002, ABS
- [8] 《Guidance for Post-hurricane Structural Inspection of Offshore Structures》 2009, API