

# 浅谈-海上固定平台导管架水下结构检测分析

程国志

湛江中海石油检测工程有限公司 广东省 湛江市 524057

**摘要:** 本公司作为中国海洋石油集团有限公司系统内专业的检测公司之一, 主要以海洋石油平台导管架水上、水下结构及浮式储卸油装置 (FPSO) 检测工作为主; 水下结构整体检测相比较而言难度大于水上结构检验, 受洋流、海况、气象、水下能见度等客观因素等影响检验质量, 同时也给检验带来较大困难, 作业单位现在主要使用的都是国外的检测仪器(主要存在维修较困难, 相对而言还是通过潜水员检测更直观) 本文主要是通过在实际现场作业时作业流程介绍涉及的一些施工方法。

**关键词:** 海上平台导管架水下结构检验; 作业程序; 电位; 测厚; 检测点分布;

## 1、前言

固定平台导管架结构检验包括水上和水下结构, 本文主要探讨水下结构检验, 检测工作应由能够胜任的人员去执行, 平台水下部分的阴极电位检测或外观检查应由潜水员在有水下外观检查丰富经验人员的指导进行。结构的无损探伤检查应由受过训练并所使用的方法有经验的人员执行。阴极电位的检查应在有专业知识的人员的指导下进行。检测施工单位和施工人员必须持有相关的结构检验证书同时水下检验的相关检测仪器必须有合格的检验证书, 施工现场须有整套的潜水施工设备, 结构检验建议在海生物清理后进行更好也更直观同时也提高作业效率。水下结构检验通俗的说法就是按照中国船级社 CCS (在役导管架平台结构检验指南) 指导根据业主要求对固定平台进行“体检”, 通过特殊的“体检”取得的参数来了解结构参数等变化的情况综合分析结构安全状况。在平台使用期内, 为了保证人员和导管架的安全, 保护环境和防止财产的损失, 应作现场检测维护以确定结构的状态和检查防腐系统的可靠性。

在平台使用期间, 所有的检测记录都应该有操作者加以保存。这种记录应包括检测发现的详细叙述, 包括录像、照片、测量数据和其它有关的测量结果。记录也应识别所进行的检测级别。

发现损坏的描述都应该全部形成文件, 并纳入检测结果之中。任何修理和结构状态的工程评估都应该形成文件并保存。

## 2、结构检验范围和依据

2.1、近年来海上固定平台常规空气潜水结构检验一般选择是水面至 EL (-) 50 000 米范围内, 主要检验内容有: 导管架整体结构含附属结构外观目视检测 (主要是 II 级检测在海生物清理后进行)、海生物取样检测 (海生物清除和结构检验同步施工, 在海生物清除前先对结构海生物进行取样检测)、牺牲阳极电位外观尺寸/结构阴极电位检测及外加电流系统装置检查、无损 NDT 检测 (焊缝 ACFM 检测/水下磁粉探伤 MPI 检测)、杆件超声波测厚、构件充水检测 FMD、导管架基础 10 米范围内海床冲刷调查 (含海管)。

### 2.2 平台危险等级划分和检测频率

根据导管架失效后果和人员安全的分类, 可以划分平台的暴露等级, 级别 L-1、L-2、L-3。

暴露等级矩阵

生命安全分类	失效后果		
	C-1, 高后果	C-2, 中后果	C-3, 低后果
S-1, 有人不撤离	L-1	L-1	L-1
S-2, 有人可撤离	L-1	L-2	L-2
S-3, 无人	L-1	L-2	L-3

风险等级矩阵

暴露等级	L-1	风险二级	风险一级	风险一级
	L-2	风险三级	风险二级	风险一级
	L-3	风险三级	风险三级	风险二级
		低	中	高
		失效概率		

失效后果根据中心平台、井口平台、支撑的海管大小和数量、有没有井下安全阀、水深确定。

根据 API RP 2S1M, 平台的检测的时间间隔不应超过下表:

风险等级	检测周期
风险一级	3~5年
风险二级	6~10年
风险三级	11~15年

根据中海油惯例, 对于风险二三等级的, 仍按照五年一次的周期进行检测。

➤ 设计水位

100 年一遇高水位	+5.70m
50 年一遇高水位	+5.57m
最高天文潮水位	+5.23m
平均水平面	+2.40m
海图水深	±0.00m
最低天文潮水位	±0.00m
50 年一遇低水位	-0.32m
100 年一遇低水位	-0.44m

➤ 风、波浪、海流风速采用海面以上 10 米参考高程处测得数值。最大风, 波, 流极值如下表所示:

		1 年一遇	100 年一遇
波浪	最大波高 (米)	6.4	14.3
	最大波周期 (秒)	8.5	10.9
	有效波高 (米)	3.8	8.6
	有效波周期 (秒)	7.9	10.3
流	顶层水深处流速 (厘米/秒)	112	190
	中层水深处流速 (厘米/秒)	88	144
	底层流速 (厘米/秒)	63	111
风	1 小时持续风速 (米/秒)	22	37.6
	1 分钟持续风速 (米/秒)	26.4	45.1
	3 秒阵风风速 (米/秒)	35.2	60.2

#### ➤ 飞溅区和腐蚀余量

平台平台飞溅区范围为 EL. (-)1.77 米至 EL. (+)8.26 米。根据详细设计的规定，飞溅区内的杆件考虑了 9 毫米腐蚀余量。

### 2.2、法规、指南及标准

#### (1) 国内法规、指南

- 中华人民共和国国家经济贸易委员会《海上固定平台安全规则》(2000)
- 导管架平台结构完整性管理解决方案 RS123211-RPT-ST-0001
- 《海上导管架式固定平台结构检测指南》
- 中国船级社 《海上平台状态评定指南》(2005)
- 中国船级社 《在役导管架平台结构检验指南》(2013)

#### (2) 国外标准

API RP 2A—WSD Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms—Working Stress Design, 2007

ISO 19902 Petroleum and natural gas industries —Fixed steel offshore structures, 2007

## 3、结构检验技术方法及要求

可根据平台的使用年限及总体状况，确定抽查的百分比。水上结构检验建议的比例如下：对于 5 年及其以下的平台抽查比例 20%，对于 10 年及其以下的平台抽查比例 40%，对于 15 年及其以下的平台抽查比例 60%，对于超过 15 年平台抽查比例 100%。关于水下构件抽检比例只有（管节点焊缝的无损检测：根据平台的使用年限及总体状况，确定抽查的百分比对于 10 年及其以下的平台抽查比例 10%，对于 10 年以上平台 20%。）其余检测手段没有更明确的指出还需专业的检验指导机构 CCS 中国船级社制定出更全面的相关手段抽检比例。对在水下结构检测中发现的任何异常情况应及时和业主及 CCS 中国船级社现场代表报告。

3.1、水下目测检查导管架结构总体状况：导管架可能的损伤为：弯曲、位移、凹陷、擦伤。这些损坏可能是外来物体碰撞或平台物体跌落造成；可能是平台建造安装时留下的；也可能是平台受到过大的应力造成的。如果发现上述缺陷，应对缺陷范围和程度进行查明，做好详细记录。

3.2、近观检查导管架结构的腐蚀状况：结构的腐蚀检查要求清除海生物，全部海生物的清除工程量大，要花费大量资金和时间。一般的作法是局部清除后检查；习惯的作法是结合构件的测厚及焊缝的 NDT，做扩大范围的清除达到局部检验的要求。

3.3、水下目测检查平台附件、附件与平台主体的连接状况：平台附件有隔水套管、立管（包括水、油、气、电缆管线）、防碰器架；

检查重点：管夹的状况，螺栓是否丢失、是否有松动；没有涂层段的管线的腐蚀情况、牺牲阳极的状况。

### 3.4 结构测厚

#### (1) 飞溅区结构测厚

飞溅区腐蚀一般较其他区域严重，测量点可比其他区域密。如桩腿结构每米测量一剖面，每一剖面根据桩腿直径的大小测量 6 点或 8 点（按照 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315 度测 8 个点）；其它支撑结构每 2 米（或合适的距离）测量一剖面，每一剖面根据直径的大小测量 4 点或 6 点（按照 0, 60, 120, 180, 240, 300 度测 6 个点）。

测厚仪使用前应按规定校正

#### (2) 全浸区结构测厚

主腿柱结构可按每段桩腿（二焊缝间）测量 3 个剖面（上、中、下）或者每 3 米测量一个剖面，每一剖面根据桩腿直径的大小测量 6 点或 8 点，其它支撑结构可按每段（二焊缝间）测量 2 个剖面，每一剖面根据直径的大小测量 4 点或 6 点。当外观检查较差时，则应适当增加测点，并且，测厚是应尽量选择腐蚀较为严重的区域来选取测点。

➤ 有显著腐蚀的构件检测比例应扩大检测范围并在报告中单独列出，应尽量根据图纸准确绘制测厚图，详细标注测厚点及显著腐蚀区域的范围，导管架的管段可分为主腿柱管段、各水平层的水平支撑管段、各立面的斜支撑管段等几种类型，根据平台投产年限的不同，这几种类型结构的各自的测厚抽查比例可参照下表

构件名称	投产年数≤10	10<投产年数 ≤15	15<投产年数 ≤20	投产年数>20
主腿柱管段	40%~70%	60%~90%	80%~100%	100%
各水平层的水平支撑管段	30%~60%	50%~80%	70%~100%	100%
各立面的斜支撑管段	30%~60%	50%~80%	70%~100%	100%

### 3.5 无损检测

根据平台的使用年限及总体状况，确定抽查的百分比，对于 10 年及其以下的平台抽查比例 10%，对于 10 年以上平台 20%。对于超役平台，根据结构评估结果确定。桩腿厚度变化处的接点、群桩结构节点是无损检测的重要部位。如一次性完成 100%重要节点的检测工程量太大，可分期（如五年内）进行。

水下探伤仪使用前应按规定测试其灵敏度，如进行 MPI 前应试验磁块的提升力及用标准缺陷试块测试探伤仪的精确度。

水下探伤部位清洁程度、宽度应满足该设备的要求。如水下磁粉探伤部位（母材、热影响区、焊缝）应打磨出白、宽度：焊缝边缘至母材 300—400mm（最低程度应与两磁轭的宽度相适合）。ACFM 要求清洁很低、油漆不需要去除。

牺牲阳极与重要结构连接处的无损检测。该连接处受电化学的作用容易诱发裂纹。

### 3.6 目测检查牺牲阳极（如锌块）外观状况

所有牺牲阳极均需检查，检查牺牲阳极是否丢失、与构件的连接是否牢固？连接处应注意检查是否有裂纹（可借助 NDT 手段）；清除阳极上的海生物和白色斑点腐蚀，检查有没有失效的阳极（一般来说，与周围的阳极进行比较、如果发现阳极表面基本没有受到耗蚀，可以怀疑阳极不起作用）、以及过量耗蚀的阳极（耗蚀超过 2/3 建议换新，耗蚀超过 90% 应立即换新），如果有，应对其位置进行标识。如果阳极表面有海生物，应清除。

### 3.7 结构电位测量和阳极电位测量

3.7.1 进行外观尺寸测量，测量 3 个周长（取平均值）及牺牲阳极总长度 overall length。牺牲阳极的电位应在  $-1050 \sim -1100\text{mv}$  之间，如测量结果不在此范围，应重新测量，仍不在此范围，应对电极校正后再测量，直至检测结果准确。

3.7.2 对阳极进行目视（II 级）检查，并进行等级划分，等级划分标准为：等级 4 应该被视为异常，并需报告业主。阳极如果出现松动、损坏、丢失也应该被视为异常。

等级 1：状态如新，棱角分明，无麻点，原始尺寸的 95%—100%；

等级 2：状态良好，棱角变圆，轻微麻点，原始尺寸的 80%—94%；

等级 3：状态开始恶化，已难辨原始形状，麻点广泛分布，原始尺寸的 50%—79%；

等级 4：状态很差，阳极骨架露出，麻点密布，小于原始尺寸的 50%。

按不同桩腿、不同层面选择约 10% 的牺牲阳极进行检验，清理除掉阳极上面覆盖的海生物，测量阳极剩余周长和长度以确定阳极消耗情况。对所有抽检阳极进行电位测量，每块阳极测量 3 个数值。

等级	剩余阳极		
A	95%-100%		Grade A - Excellent condition. Well defined corners and no pitting. (95% to 100% of original)
B	80%-94%		Grade B - Good condition. Slight pitting and rounded corners. (80% to 94% of original)
C	50%-79%		Grade C - Poor condition. General pitting and losing shape. (50% to 79% of original)
D	50%以下		Grade D - Very poor condition. Extensive pitting and support bracket showing. (Less than 50% of original)

3.7.3 水下电位仪下水前应海水浸泡 2-3 小时，使用前应校正确保数值准确。

(1) 在海水中，经保护的钢结构电位必须低于  $-0.8\text{V}$ ，理想的钢结构电位处于  $-0.9\text{V}$ — $-1.0\text{V}$  之间（相对  $\text{Ag}/\text{AgCl}$ ）。如果电位到  $-1.1\text{V}$  或更低，检测时应确认是否形成释氢裂纹。正常的阴极电位（ $\text{Ag}/\text{AgCl}$ ）一般介于  $-800\text{mV}$  到  $-1050\text{mV}$  之间距离阳极 3 米远的地方，电位应不高于  $-1020\text{mV}$ 。如果电位太高，则表明保护不够，应考虑更换/增加阳极。根据阳极布置图，分析保护最弱的地方进行电位测量。

(2) 明确电测量的位置及测量方法，根据牺牲阳极的布置图，分析保护最弱的地方，如：在每两块阳极之间、构件尺寸变化的地方、节点处。每块阳极上选取两个测点做电位测量，取平均值（ $-580 \sim -850$ ）。

### 3.7.4 电位测量时应注意以下事项：

(1) 测量仪器常用 BCM 型电位仪。每次电位测量前后，都应使用饱和的甘汞电极对测量电极进行校验。每个班（8 小时）校正一次。

(2) 对钢结构进行测量时，测量位置应尽量远离牺牲阳极。

(3) 金属触点与被检测结构表面的电接触：对于 Ag/AgCl 电极来说，不良的电接触会导致电位读数误差在  $-0.9 \sim -0.6\text{mv}$  之间。因此在测量前，须将待测点处钢材表面和阳极块上的腐蚀物清理干净，使测量电极的金属探头与被测结构表面（钢表面或阳极材料）保持良好的接触。

(4) 明确电测量的位置及测量方法，根据牺牲阳极的布置图，分析保护最弱的地方进行电位测量，如：在每两块阳极之间、或构件尺寸变化的地方、节点处。

(5) 如果被保护结构电位太高，则表明保护不够，应考虑更换/增加阳极。如果发现被保护结构电位过低，则应考虑减少阳极数量。

### 3.7.5 测点的数量参考中海油总公司标准《海上钢质平台阴极保护监测系统》。

参比电极及被监测阳极的数量应依据导管架的大小来确定，数量及分布应能正确、全面地反映导管架的保护情况，根据导管架所处海域的水深，参比电极及被监测阳极的数量可参考下表 1。

表 1 参比电极及被监测阳极数量

水深 m	参比电极 个	被监测阳极 个
<30	8~12	4~6
30~80	12~16	6~8
>80	≥16	≥8

### 3.9 海底检查

海底检查就是检查海底下沉、结构沉降、海管悬空情况。对导管架的海床周围（如 10 米、50 米）进行调查，是否有残骸、杂物；对撞击导管架的可能性进行评估；对凹坑、冲刷等进行测量和标高；对导管架上海管的悬空情况进行调查、测量；根据测量结果绘制轮廓图。

导管架投入使用后，由于海底海流绕导管架下面撑杆流动，使本来稳定的海底受到扰动，在导管架靠近海底的构件附近形成冲刷。基础被冲刷后，主要影响导管架侧向土压力，改变桩的受力及支承件。冲刷有两种：普遍冲刷、局部冲刷。如果发现有海底冲刷，应测量冲刷的范围和深度（基盘、抗沉板底部到实际海底距离），并画好草图（测量点选择如：每个桩腿四周、每二个桩腿中间、每四个桩腿中间）。校对设计中对冲刷深度的限制，必要时校核桩侧抗力。对影响安全的应进行回填。

### 4.10 海生物厚度测量

海生物增加导管架受流面积、增加导管架的贯性力。对平台的安全起负面作业。海生物厚度超过平台设计硬质海生物的允许量或平台经安全评估确定海生物需清除时应进行清除。

应明确测量方法（如各构件每隔 3 米测量一剖面，每一剖面测量 4 点或 2 点海生物厚度）及测量时画好草图，对各个部位的海生物厚度进行详细记录。

测量一般通过两种方式进行：一是通过测量杆件和污损生物附着在一起时杆件的周长，再通过换算来求出，这就要求测量绳保证是在与构件轴线相垂直的一个平面上，这与海况关系很大，当海况较好时就较准确，也具有较好的代表性，反之则不然，当海况较差时，测量结果误差较大，进而产生错误的判断；另外一种方法是通过清理某一点的海生物，然后测量该点边缘处（可测量 4 点进行平均）海生物的厚度，这种方法受海况影响较小，测量值也较准确，但缺点是该点的代表性受到一定程度的限制，例如当污损生物的生长速度受海流的方向影响而在不同的方向有较大的不同时，就不能较准确地表达海生物厚度状况。

注：在 II 级检测期间发现的显著的结构损坏应成为进行 III 级检测的根据。如果需要和可能，应该尽早执行 III 级检测。

## 4、施工现场检测数据的记录与完工报告编制

4.1、施工现场检测数据记录，项目组技术员负责对检测数据的记录工作，现场记录的数据要求和潜水检测员报告的数据吻合确保数据的真实性有效性，检测数据按照不同的检测手段记录到相应部位的记录表格中，记录的数据要求不能涂改且字迹要清晰；

4.2、完工报告的编制，完工报告编制由潜水监督和技术员联合完成检测报告的编制工作，检测定位图采用专用绘图软件进行绘制，要求每张图应清晰明了。标注的图纸号、测点号、节点号、杆件号以及有关尺寸数据明白无误，准确反映图上所有测厚点所在位置，如结构复杂采用整体布置图和局部细节图相结合的方式绘制，报告上的每一个测点数据均可准确对应定位图上的对应编号测点，焊缝节点号、杆件号尽量和平台的设计图纸编号一致，如没有找到原始的图纸，则应合理编排节点号和杆件号。对原始录像要完整保存备份后对作业过程中录像按照要求分层次作业手段进行编辑完善，完工文字报告要按照不同作业手段分层次图文并茂进行编辑完善，文字报告检测数据要与原始记录资料检测数据要吻合，文字描述要精准到位与潜水检测员第一手报告内容意思一样，关于业主方包括如下内容（CCS 中国船级社批准的技术方案；作业对象及检测的结果；检测位置改变后备注描述；检测数据收集及数据变化情况；CCS 和业主临时增加的作业内容）完工报告编辑完善后提交业主和 CCS 审核，最后由 CCS 向业主提交平台导管架的综合评估报告。

## 5、潜水作业结论

随着国家加大开发海上油气生产同时服役的平台导管架逐年增多，由于平台导管架是固定在海水中其构件腐蚀是非常严重的同时受洋流、漂浮物撞击、机械的振动、拖轮靠泊作业的碰撞等因素影响对钢结构造成一定的破坏，在导管架安装前建造方按照相关规范和工艺对导管架采取各种保护措施防止海洋生物等因素对钢结构的破坏，为确保导管架的安全状态需对导管架水下结构采取相关工艺的检测作业，通过潜水员实际水下检测作业是最直观最有效的方式方法，从而 CCS 中国船级社通过潜水检测作业取得相关的检测数据综合分析评估导管架的安全状态，为海上平台生产作业人员提供良好的工作环境。上述资料是多年潜水现场实际施工作业总结的相关工作经验通过本文供同仁们一起共勉和参考。