

近海浮式装置水下检验质量控制与应用

陈凤生¹, 倪鹏², 张勇¹, 姚传惠², 肖晓凌^{2,3}, 周爱源², 徐进²

(1. 中海石油中国有限公司深圳分公司工程建设中心, 广东 深圳 518067;

2. 深圳市杉叶实业有限公司, 广东 深圳 518067;

3. 上海水下救援工程技术研究中心, 上海 200090)

摘要: 本文结合中海石油南海东部某油田 FPSO 水下检验代替坞内检验中发现异常缺陷及处理方法实践, 阐述类似入级浮式装置的水下检验中质量控制措施及检测技术运用方法, 对今后类似近海设施水下检验项目具有借鉴意义。

关键词: 近海浮式装置; 水下检验; 质量控制

中图分类号: U672 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 08—0056—03

南海东部近海浮式装置 (offshore unit) 包含生产储油及卸载装置 (FPSO, Floating Production Storage and Offloading), 储油及卸载装置 FSOU (Floating Storage and Offloading) 和半潜式浮式储油平台 (Floating Storage and Offloading) FPS 等通过单点系泊系统固定在海上, 与航行船舶定期进坞维修检验不一样, 海上浮式装置一般是通过单点系泊系统或锚系进行固定, 长期经历海上恶劣气象, 服役年限比较长, 如进坞坞修需要进行油田停产、单点解脱、拖航, 一般坞修船坞费用昂贵、周期较长; 因此从经济方面考虑, 为不影响生产, 加上单点解脱和回接比较困难, 船东及油田作业方一般倾向于采用水下检验代替坞级检验的方式完成水下检验以满足船级社规范要求。本文以南海东部某油田 FPSO 水下检验发现一处舳龙骨板对接焊缝裂纹作业为例, 详细介绍海上浮式装置在役检验质量控制的管理和相关的检测技术手段。

1 水下检验质量控制

1.1 满足国家法律法规、行业和油公司的要求

油公司作为业主单位, 在水下检验的发包过程中需要对商务和技术文件进行把控。具体包含以下几点: ①应满足国家相关法律法规要求: 如新的《安全生产法》第七十二条 “承担安全评价、认证、检测、检验职责的机构应具备国家规定的资质条件, 并对其作出的安全评价、认证、检测、检验结果的合法性、真实性负责。资质条件由国务院应急管理部门会同国务院有关部门制定。承担安全评价、认证、检测、检验职责的机构应当建立并实施服务公开和报告公开制度, 不得租借资质、挂靠、出具虚假报告”。如从事海洋石油设施安全生产的机构应持有国家安全生产监督管理局 (现国家应急管理

部) 颁发的 “国家海洋石油安全中介机构资质证书”; ②从事所入级的海上设施水下检验检测应具备相关船级社水下检验资质证书。所入级的海上设施除满足相关的船级社规范要求相关规范要求。从事水下检验检测作业应配备相应的水下检验人员和监督员, 其中操作员应具备中国船级社水下无损检测证书操作证书 (1 级) 和监督员应具备 2 级证书或船级社认可的等同证书。并且实施水下检测作业人员应在施工单位水下检验证书附页人员名单中; ③满足油公司要求, 从事近海设施水下检验应具备中海油潜水安全资质, 从事水下维修还应持有中海油海上设备维修资格证书; ④具备有相应的潜水作业资质: 如国潜水打捞行业协会 CDSA、国际潜水承包商协会 ADCI、国际海事承包商协会 IMCA 潜水资质等。

1.2 水下检验实际质量控制手段

水下检验的质量控制过程从事前、事中和事后控制 3 个方面进行控制:

(1) 事前控制: 施工单位的资质审查、施工方案包含施工质量控制方案的报批等;

(2) 事中控制: 施工、工艺的质量控制, 可以对施工工序或步骤进行分解, 每个步骤质量控制节点、施工内容及标准、检验标准、不合格控制措施、施工负责人、验收人几个方面进行控制;

(3) 事后控制: 对检验结论的确定、检验报告编制的审查等。

水下检验的质量控制具体操作可以从人、机、料、法、环、测等 6 个方面进行控制:

(1) 人: 作业队的检测人员包含水下检测潜水员和水面监督员配备与所执行种类的水下检验检测相应的资格证书, 一级持证人员仅能实施检测作业, 检测作业

实施计划、实施过程、实施结果、实施报告需由二级持证人员编制、监控,还应具备水下检验资质相关证书和作业经历,检测潜水员需熟悉所将进行检测的结构对象、检测设备/仪器的性能与操作。

(2) 机:除配备满足潜水规范要求的水下装备,还应包含水下检测仪器和工件表面清理的辅助设备,且检测设备应进行第三方校核和使用前后的功能测试。

(3) 料:检测作业过程中使用的材料符合性和完好性,如磁粉应配置合适的水下磁悬液,目视检测、ACFM 检测等应配备相关的检验标识。

(4) 法:具体为施工工艺、检测技术,应具备相应的检测检验指导书和操作规程,以及发现缺陷后采用不同检测技术手段的相互验证来检测结论的准确性,近海设施的水下检验一般分为三类:其中,I类检验一般为宏观目视检测,通过潜水员安装在潜水员佩戴的潜水头盔上的摄像头进行水下录像;II类检验为定量检验,一般包含近观目视检测和尺寸测量如凹陷测量、阳极尺寸测量和海生物厚度测量等;III类检测主要为无损检测,操作人员需要使用无损检测设备进行检验^[1],检验手段包含水下磁粉检测、超声波厚度测量、电位测量、水下交变电流场检测(ACFM, Alternate Current Field Measurement)、杆件透水检测 FMD(Flooded Member Detector)和水下超声波探伤,其中,ACFM 检测属于涡流检测的一种,焊缝检测表面只需要达到 SA1(轻微的清理掉表面的海生物达到宏观目视的要求),代替了传统的磁粉检测,磁粉检测表明需要达到 SA2.5^[2](使用高压水射流清理到表面金属光泽),广泛运用在近海设施水下构件焊缝检测手段,被国际上几大主流船级社包含挪威船级社、美国船级社和中国船级社等认可。

(5) 环:作业的气象环境如水流、能见度和涌浪等会对水下检验的质量造成影响。

(6) 测:对检测结论的验证,包含采取不同检测技术手段进行验证,以保证检测结论的准确性,为海上设施提供准确的完整性评估的一手资料。

2 水下检验质量管控实际运用

2.1 检测结论的确定

在南海东部某油田 FPSO 水下检验项目中,潜水员在对船体水下检验过程中发现了一处舭龙骨板对接焊缝裂纹缺陷,舭龙骨板宽 440mm,厚度约 20mm,裂纹沿

着焊缝从端部往船板方向延伸,裂纹贯穿整个舭龙骨板厚,测量长度为 110mm。

后续使用了 ACFM 水下检测手段进行了舭龙骨的裂纹尺寸的确认,其中,ACFM 图形显示的测量端部基本上与潜水员目视测量裂纹端部吻合,ACFM 测量长度为 120mm,深度为 21mm,包含油漆厚度约 2mm,也显示了焊缝裂纹贯穿整个舭龙骨板厚如图 2。基本上与潜水员目视测量吻合,验证确认了裂纹长度和深度,保证了检测结论的准确性,为后续的维修钻止裂孔提供了依据。

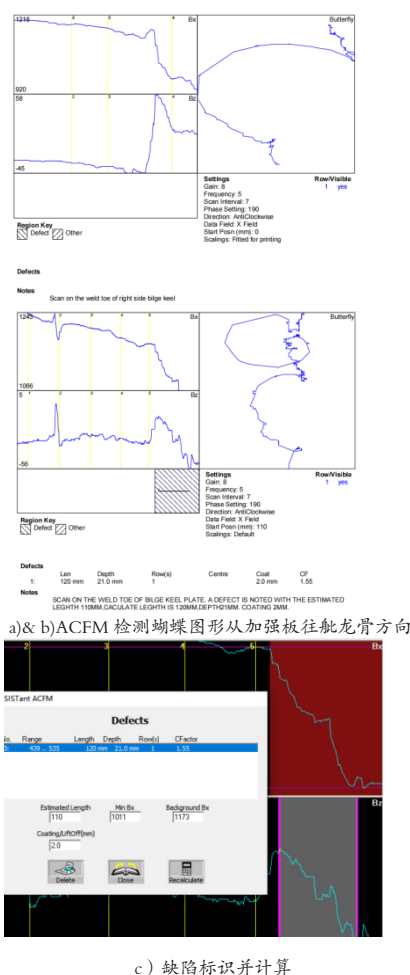
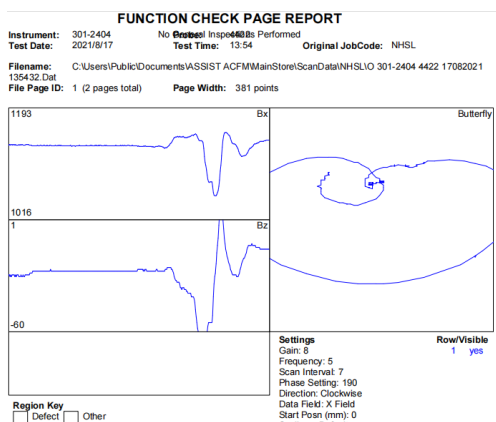


图 1 缺陷 ACFM 检测图形显示

本次作业人员按照船级社规范要求,配备的检测人员包含持有 CCS 水下目视检测 1 级和 2 级资质,水下磁粉 1 级和 2 级资质和人员水面 ACFM 操作人员持有英国皇家焊接协会 CSWIP ACFM-2 检测资质^[3]。检测设备磁粉检测设备进行了水面提升力测试和水下工件表面的八角试块试验,ACFM 也进行了潜水前后的功能测试。



a) ACFM 检测设备在标准试板 50mm*5mm 裂缝功能测试图形

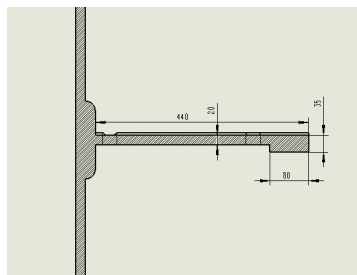


b) 磁粉检测设备进行灵敏度测试

图 2 无损检测设备功能测试

2.2 维修方案

为防止裂纹继续延伸危及船板, 根据油田作业区、现场验船师和潜水施工方等多方共同商议, 决定在裂纹截止端、焊缝内端分别各钻 $\varnothing 32\text{mm}$ (板厚 1.5 倍) 止裂孔, 以消除裂纹继续沿伸产生的危害, 其中, 一个孔在焊缝裂纹端部, 另一个孔沿焊缝延伸尽量靠近加强板^[4], 考虑到水下液压钻的操纵方便性, 特设计了供液压钻的工装夹具以达到台钻的效果, 保证钻孔与板厚方向垂直。



a) 维修方案示意图



b) 水下钻孔设备



b) 水下钻孔

图 3 水下钻止裂孔维修作业

钻孔后, 潜水员对钻孔后的舭龙骨板及对接焊缝进行近观目视检测和磁粉检测, 并对钻下来的材料取样回水面检查, 发现其中靠近加强板焊缝侧的钻孔中间有一条贯穿的未熔合显示, 可能是焊接过程中缺陷, 舭龙骨由于长时间的应力疲劳加上内部缺陷, 导致了从舭龙骨板边缘产生了一条贯穿板厚的裂纹缺陷一直往船板方向延伸 120mm。而由于 MPI 只能检测出表面缺陷, ACFM 也只能检测出浅表面的开口型缺陷; 此时最适宜的检测手段可以采取水下超声波探伤, 而局限于国内的水下超声波探伤的设备 and 人员, 目前在近海设施的水下超声波探伤基本上未实践运用。



a) 水下磁粉检测

b) 水下钻孔后目视检查

c) 水下钻孔后取样

图 4 钻孔后进行水下检测

3 结语

综上所述, 近海浮式装置的水下检测检验的质量控制应从人、机、料、法、环、测等进行管控, 其中“测”对检测作业中发现异常缺陷特别是对于海上设施危害性大的裂纹性缺陷应采取不同检测技术手段进行验证, 以保证检测结论的准确性, 为海上设施提供准确的完整性评估的第一手资料。此次 FPSO 船体水下舭龙骨裂纹的缺陷检验手段和后续的处理方法为其他的近海设施水下检验质量控制措施起到借鉴意义。

参考文献:

- [1] 杨贵强. FPSO 检测技术 [J]. 船海工程. 2015 (5): 65-67.
- [2] Peter Atkey. Tuition Notes for using CSWIP inspection Course 3.4U, United Kindom[S]. 2002.
- [3] 徐红兵、杨坤等. 海洋油田设施钢结构焊缝裂纹检测技术研究 [J]. 检验检测, 2020(8): 80-84.
- [4] 蒋翔、周海波. 舭龙骨垫板对接焊工艺的改进. [J]. 船海工程, 2013 (3): 79-80.