

导管架水下裂纹修复方法研究

Research on Repair Method of Underwater Crack of Jacket

林晓

Xiao Lin

中海石油（中国）有限公司蓬勃作业公司 中国·天津 300459

CNOOC (China) Co., Ltd. Pengbo Operating Company, Tianjin, 300459, China

摘要：中国海洋石油平台主要为固定式平台，随着平台使用年限的增加，水下钢制导管架在各种外力及环境因素的作用下有可能遭到不同程度的损害，甚至产生裂纹，如不能进行及时的修复和保护，损害程度会不断加重，甚至造成整座平台的坍塌，后果不堪设想。基于目前已经发现的问题，需要尽快对破损进行修复，保证导管架结构强度满足生产需求，消除安全隐患。一种安全可靠、可操作性高，同时兼具经济性的水下裂纹破损修复方法，亟须研究并得到实践。

Abstract: China's Marine oil platform is mainly fixed platform, with the increase of platform service life, underwater steel pipe frame under the action of various external forces and environmental factors may be different degrees of damage, even cracks, if not timely repair and protection, damage degree will increase, and even cause the collapse of the whole platform, the consequences are unimaginable. Based on the problems found, it is necessary to repair the damage as soon as possible to ensure that the structural strength of the frame meets the production demand and eliminate safety risks. A safe, reliable, operable and economical underwater crack damage repair method is urgently needed to be studied and practiced.

关键词：导管架；裂纹；水下

Keywords: jacket; crack; underwater

DOI: 10.12346/etr.v4i7.6633

1 引言

基于海上石油平台导管架所处环境和自身结构限制，一旦发现结构本身出现裂纹等损害，对平台自身安全影响巨大，而且修复起来十分困难，如果处理不当造成事故，经济损失和环境影响难以估量。随着对海洋资源的开发和利用不断加大，海洋结构物越来越多，对海洋结构的安全维护和破损的修复的需求原来越大，条件越来越苛刻，而且在修复实施过程中要确保对原结构体不增加负担、不增添更多的风险，修复后的结构强度至少要达到原结构水平并能持续发挥作用。

论文基于某平台在裂纹处理和修复过程的工程实际，结合以前的项目操作经验，对海洋平台导管架水下部分结构出

现裂纹等缺陷后的分析和修复方案进行探讨，为以后面对此类问题时提供参考和借鉴，以尽快确定适合的方案并完成修复。

2 项目简介

某油田位于渤海南部海域，属于特大型整装油田，其中一平台为8腿导管架平台，设计寿命20年，至今已服役14年。2017年水下检测中发现导管架水下部分结构中有多处大小不一的裂纹缺陷，其中有两处目视可见的开裂裂缝（见图1）。通过FMD进水构件检测仪检测，确定有几根杆件已经进水，其他裂纹可以视为深度小于4mm的浅裂纹。裂纹已经对平台结构构成潜在威胁，必须尽快修复并加强^[1-2]。

【作者简介】林晓（1974-），男，中国河北唐山人，本科，工程师，从事海洋结构物研究。

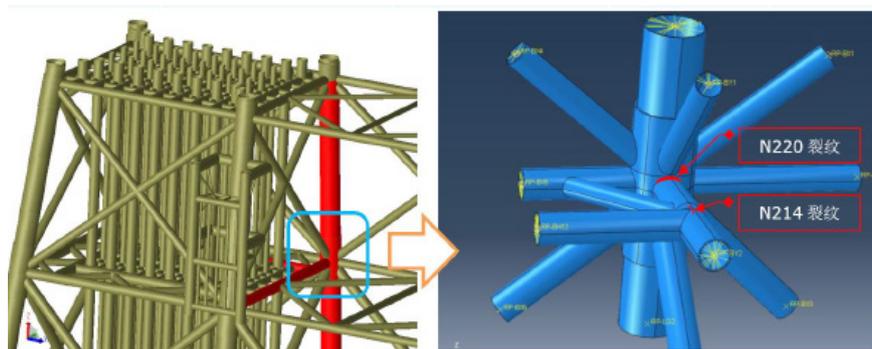


图1 裂纹位置及结构示意图

3 裂纹评估及处理建议

3.1 裂纹形成的原因

船舶系泊载荷——主要影响整体结构，尤其是立面斜撑交叉节点和桩腿节点；海生物厚度增长——影响整体结构；隔水管连接处封闭板上的局部水动力——影响水下井口区域的节点和杆件；底部填埋沙袋重量——考虑以前投掷的沙袋重量作用在底部防沉板上，底部防沉板主要结构将被破坏，从而导致相关节点强度不足^[3]。

3.2 结构现状评估

平台导管架结构现阶段可以承受平台常规基本作业；尽快对节点裂纹完成修复，避免裂纹贯穿至整个桩腿截面或延伸至附近结构。裂纹节点剩余寿命小于设计寿命：从敏感性分析的结果看，考虑到封闭式隔水管支撑结构的波浪载荷，相关节点的疲劳寿命显著减少，且小于其已服役寿命。

3.3 处理建议

3.3.1 进一步检测、调查

筛选出一些潜在风险点，针对这些风险点，展开进一步的水下检测和调查，确保目前平台上并无其他未发现裂纹。

3.3.2 立即开展临时止裂工作

对于深度不超过5mm的裂纹，使用水下液压打磨机打磨，保证磨口光滑连续，尽量减少应力集中，防止裂纹进一步扩展。

对于深度大于3mm小于5mm的裂纹，应该对板厚、焊缝余高、位置等因素综合分析后确定是否可以采用单一的打磨修复。进行校核评估，根据打磨后剩余焊缝的尺寸重新

进行承载能力的校核计算，满足要求就可以做单一的打磨修复。

3.3.3 降低环境载荷

隔水管水平层对平台节点强度影响较大。需降低对应水平层受到的环境载荷，降低该层对导管架节点结构的影响；及时对隔水管与喇叭口之间的间隙进行检查，还要进行海生物清理；对海生物厚度密切监控，并及时清理；对隔水管连接处封闭板进行开孔，降低局部水动力，需要评估校核。

3.3.4 裂纹修复治理方案推荐

大裂纹采用灌浆卡箍方案；小裂纹采用打磨治理方案。

4 修复方案

4.1 小裂纹打磨治理

4.1.1 小裂纹打磨技术要求

打磨区域包括缺陷走向所在区域、缺陷起始点和结束点以外的延伸区域的打磨。缺陷起始点和结束点以外的延伸区域，其打磨的水平长度应为缺陷深度的4倍，打磨区域的宽度为深度的8倍。

根据DNV的规范要求，打磨时要保证打磨区域的凹坑半径 r 大于杆件壁厚的四分之一，凹坑的边缘要打磨得向光滑过渡。

缺陷打磨采用细打磨头，根据缺陷的打磨所剩深度、打磨区域的最小凹坑半径及打磨工具的规格，选取不同的打磨头，保证选取的打磨头的半径大于凹坑的最小半径。缺陷的打磨的尺寸计算见图2，打磨示意图见图3。

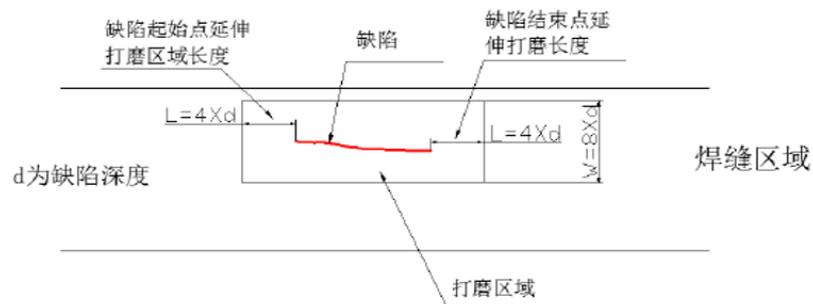


图2 缺陷的打磨的尺寸计算图示

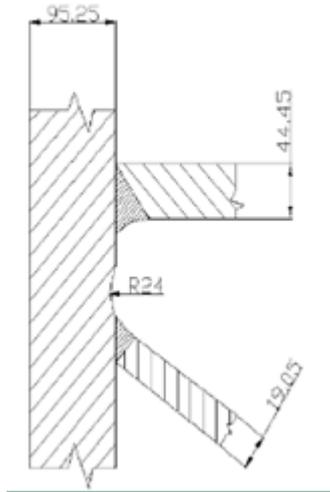


图3 打磨示意图

4.1.2 打磨施工步骤

①施工前准备。

作业人员与平台负责人开展专项 JSA 分析会和安全会，落实安全要求及预防措施；设备及工具布置就位；设备调试，性能检查；高低压压缩机气体测试。

②裂纹所在区域结构表面海生物清除。

潜水员由潜水吊笼入水，到达待复测缺陷所在位置；潜水员使用铲子、刮刀及钢丝刷等海生物清理工具对结构表面进行海生物清理，海生物的清理范围是以裂纹为中心两边各 10cm 宽的区域带；清理过程中，先使用刮刀将表层较大的海生物进行清理，再使用钢丝刷清理残余的海生物，避免结构表面的刮伤。

③裂纹缺陷打磨。

潜水员对裂纹缺陷区域进行检测，确定缺陷起止点和走向，标记缺陷打磨区域；选取合适打磨头，保证选取的打磨头的半径大于凹坑的最小半径；每次打磨的厚度应在 0.5mm 以内，打磨过程中，潜水员目视确认打磨作业的结果，当打磨达到指定深度和宽度时，使用 ACFM 进行检测，检测缺陷的深度变化情况。当缺陷深度约为 1mm 时，采用锥形精磨头；最后一次打磨的厚度应在 0.2mm 以内，采用球形打磨头；打磨完成后，再次使用水下磁粉检测，检测结果证明缺陷消失，打磨修复完成；若未消失继续使用液压打磨机打磨；打磨过程中要消除锐角，使打磨点向各方向圆滑过渡。

4.2 大裂纹灌浆卡箍

4.2.1 灌浆卡箍技术简介

灌浆卡箍可以通过灌浆修复结构表面的建造缺陷，对于可能存在的结构变形适应度较高，适合椭圆度要求不高的杆件，可以修复并提高复杂节点结构处的强度。考虑到本项目修复节点位置复杂，采用更适合的灌浆卡箍。

非自应力灌浆卡箍原理是包裹在管节点外的环形卡箍，安装时先通过螺栓连接各分片，并施加预紧力，然后向卡箍与原结构环形空间内注入高强水泥。灌浆水泥无膨胀无收

缩。卡箍与原结构之间的连接强度通过水泥的黏结力以及摩擦力提供，包括杆件表面的一些缺陷也会被水泥填充并提供连接力。因此对于原有杆件的表面质量要求没有其他修复方式那么苛刻^[4]。

4.2.2 灌浆卡箍的选择

本项目中的卡箍连接强度可以在一小段距离中通过凝结的水泥激发出来，同时当前节点附近的结构复杂且空间局促，适用于安装非自应力式卡箍，而且非自应力式卡箍的安装费用更低。灌浆卡箍安装位置见图 4，灌浆卡箍结构图见图 5。

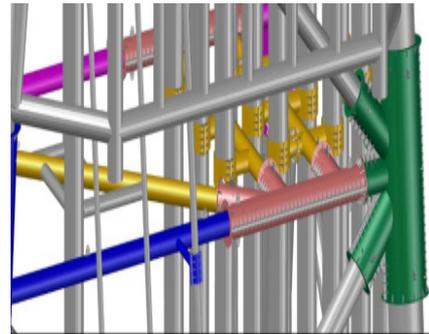


图4 灌浆卡箍安装位置

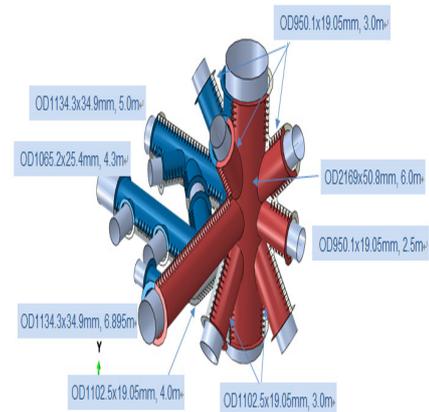


图5 灌浆卡箍结构图

4.2.3 灌浆卡箍的设计与安装

①结构设计。

卡箍共分为 4 片，使用螺栓相互连接和紧固；单片最大长度 6.9m，主腿杆件长 6m，其他长度在 2.5~4m 之间；卡箍与导管架结构杆件间隙 75mm；卡箍总重 37.1t。

②卡箍螺栓紧固设计及组装顺序。

将螺栓位置编号；现将卡箍远端各端口处成对安装；安装各段中间位置螺栓；再由中间向远端成对安装。

③灌浆设计及注意事项。

杆件钢材表面去除釉光面、油漆层、油脂或其他任何降低连接强度的物质；灌浆前，使用定位螺栓调整灌浆空间间隙确保水泥厚度保持均匀；灌浆中，采用水置换的方法以及多个出浆口的设计保证灌满浆；海上使用前需要在陆地做灌

浆模拟试验。

④灌浆卡箍计算校核。

为保证可行性，对灌浆卡箍修复后的导管架结构强度进行如表1所示的计算分析。

表1 计算分析

分析内容	分析目的	分析结果
在位分析	评估裂纹修复后导管架整体结构强度是否满足要求；通过对比导管架裂纹修复前后的强度结果，判断裂纹修复后对导管架整体杆件强度结果的影响	修复后结构强度提高明显
疲劳分析	评估裂纹修复后导管架的疲劳寿命是否满足要求	修复后疲劳寿命提高明显
倒塌分析	评估裂纹修复后导管架的储备强度是否满足要求	修复后平台储备强度提高
卡箍有限元强度分析	评估使用灌浆卡箍加强后的结构在设计工况下，结构强度是否满足要求	卡箍自身强度满足要求

⑤灌浆卡箍海上安装。

施工准备；根据设计和陆地实验结果，每片卡箍按就位

路径进行逐片安装，并按设计顺序和要求对连接螺栓预加力；安装密封橡胶和封板，并对紧固螺栓加力；根据灌浆程序进行灌浆作业；施工完成，拆除辅助工具，平台结构设备及施工人员复员。

5 结语

随着海洋资源开发的不断深入，水下结构物的破损修复工作越来越多，情况越来越复杂，只有通过对以往案例的总结和分析，吸取教训，借鉴经验，才能更好地应对。在工作中不断优化和创新，用更适用的方法减少施工消耗，降低施工成本，提高解决问题的效率，起到降本增效目的。

参考文献

[1] 王江宏,徐峰,董春华.灌浆修复对导管架受损杆件的作用探讨[J].科技经济导刊,2017(19):2.

[2] 张勇,李士喜,徐文教.导管架节点裂纹的卡箍加强维修[J].石油工程建设,2016,42(3):19-22.

[3] 王火平.惠州32-3导管架裂纹群结构安全评估及维修方案研究[J].中国海上油气,2020,32(2):150-155.

[4] 陈波,李伟,张人公,等.百米水深导管架水下裂纹检测方法选择及应用[J].机械工程师,2017(10):69-71.