

某海上平台生产系统管线腐蚀问题分析及评估

陈经华

中海油常州涂料化工研究院有限公司上海海铠防腐工程技术分公司, 天津 300452

摘要：海上采油平台生产系统工艺管线的腐蚀问题一直以来对于油田生产存在不可忽视的影响，检测是重要的加强腐蚀预警和提升腐蚀管理的方法。本文介绍了对某海上平台的工艺管线检测评估方法，通过多项无损检测的综合判断，再结合行业标准计算分析，评估管线状态，制定针对性维修建议，为海上平台工艺管线的腐蚀控制提供了良好的思路。

关键词：无损检测；腐蚀；工艺管线；腐蚀分析

Analysis And Evaluation Of Pipeline Corrosion In Production System Of An Offshore Platform

Chen Jinghua

CNOOC CPCIRI Shanghai Haikai Corrosion Protection Tech Branch, Tianjin 300452

Abstract： The corrosion issues in the production system pipelines of offshore oil platforms have always had a significant impact on oilfield production and cannot be ignored. Inspection is an important method to enhance corrosion warning and improve corrosion management. This paper introduces the inspection and evaluation method for the process pipelines on a specific offshore platform. Through comprehensive assessment using multiple non-destructive testing methods, combined with industry standard calculations, the pipeline condition is evaluated, and targeted maintenance recommendations are formulated. This provides valuable insights for effective corrosion control of process pipelines on offshore platforms.

Key words： nondestructive testing; corrosion; process pipeline; corrosion analysis

概述

对于海上采油平台而言，生产系统工艺管线是其生命动脉，其安全稳定运行是保障油田生产的重要环节。在恶劣的海洋腐蚀环境中，高盐度、高湿度对于管线的外部腐蚀有着严峻的考验，而油田复杂的介质，高含水、酸性气体也对工艺管线的内腐蚀造成威胁。对于海上平台生产系统工艺管线的腐蚀控制，一方面在于前期的材料选型、防腐设计，另一方面也需要高度重视腐蚀监测及检测。通过腐蚀检测发现生产系统中的泄露隐患，在未造成影响之前采取防护、维系措施，保障管线在生命周期的平稳服役。

某海上平台开展腐蚀风险排查，对平台斜板除油器出口管线、生产加热器进出口管线、油海管管线等共计27条管线部分部位进行目视检测、超声波探伤检测、磁粉探伤检测、超声波测厚、低频导波检测，发现了众多腐蚀隐患，通过分析评估，定量判断管线现状，为防腐维修及腐蚀控制提供指导建议。

一、腐蚀检测

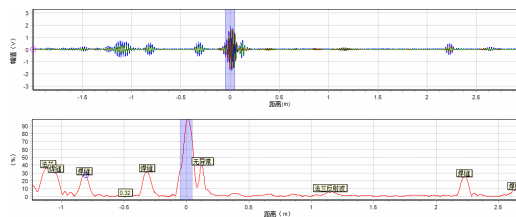
腐蚀环境复杂多样，针对不同的管线材质、腐蚀介质等就需要制定相应的检测方案，只有采取了恰当的检测手段，才能给出有效的防护手段“对症下药”，从而满足安全生产要求。^[1]对该海上平台的检测也采用了多种检测方法结合，综合判断分析腐蚀。

(一) 导波检测

超声导波检测利用扭曲波对工艺管线进行长距离环向检测，以接触点为起点向前后进行延伸10m-20m，通过波形状判断管线截面缺陷，精度可以达到3%以上的缺陷全检出。导波本身具有的多模态特性，使得导波技术在面临复杂波导结构时，可选择的敏感模态和激励方式具有极高的自由度。^[2]

表1 导波检测结果

导波检测结果			
检测设备	磁致伸缩超声导波检测仪	探头类型	MGZS064mm
管道直径	168.3mm	管道壁厚	10.97mm
管道环境	架空	管道状态	保温层
发射频率	84KHz		
功率	62.5%	增益	47dB



> 图1 导波检测图例

对图形进行分析, 结合现场管线位置布局, 分析如下表2所示。

表2 异常点解析

编号	特征位置 (m)	特征类型
1	-1.112	法兰
2	-1.048	焊缝
3	-0.822	焊缝
4	-0.319	焊缝
5	0.127	无异常
6	1.147	法兰反射波

编号	特征位置 (m)	特征类型
7	2.222	焊缝
8	2.629	焊缝

通过检测结果可知, 该点位未发现腐蚀缺陷。

(二) 超声波探伤

通过超声探伤可定量检测工艺管线的腐蚀缺陷, 判定管线的缺陷位置、缺陷面积、缺陷深度, 不单对直管段和弯头可准确测量, 同时可以应用于焊缝等位置。与传统方法相比, 超声波探伤仪在应用方面具有多方面优势, 同时可以最大程度避免对技术人员的伤害。^[3] 通过超声探伤检测未发现管线缺陷, 如表3所示。

表3 超声探伤结果

构件 / 部件	对接环焊缝	规格	Φ168.3×10.97mm	材料牌号	20#			
检测比例	100%	焊接方法	SMAW/GTAW	表面状态	打磨处理后			
坡口形式	V	检测时机	在役	热处理状态	/			
验收标准	NB/T47013.3-2015	验收级别	I	检测技术等级	B级			
仪器型号	超声波探伤仪 CTS9006PLUS	仪器编号	MRIE-D4222	检测方法	直射法、一次反射法			
检测技术	横波斜探头	检测区域	焊缝及热影响区	检测面	外壁单侧			
探头型号	5P8×9K1.5、K3	试块	CSK I A RB-C	时基线比例	声程 1: 1			
表面补偿	+4dB	耦合剂	化学浆糊	探头移动区域	> 1.25P			
评定灵敏度	Φ2×40-18dB	定量灵敏度	Φ2×40-12dB	判废线灵敏度	Φ2×40-4dB			
检测结果								
焊缝编号	焊工编号	检测长度 (mm)	缺陷最大波幅位置	缺陷长度 (mm)	缺陷深度 (mm)	最高波所在区域	级别	结论
T16-1	/	530	/	/	/	/	I	合格
T16-2	/	530	/	/	/	/	I	合格

(三) 磁粉探伤

管线的外腐蚀通常采用磁粉探伤的形式进行, 对于管线外部的裂纹能够快速准确的识别出来。磁粉检测虽然古老, 但经久不衰, 由于该方法操作简便、直观, 结果可靠, 速度快, 价格低廉

等优点, 仍被航空、航天、机械、冶金、石油等各行业广泛应用。^[4] 对接环焊缝检测中发现弯头与直管对接环焊缝上弧面存在裂纹。如表4所示。

表4 磁粉探伤结果

构件 / 部件	对接环焊缝	规格	Φ168.3×10.97mm	材料牌号	20#		
检测部位	环焊缝外表面及热影响区	检测比例	100%	检测时机	在役		
表面状况	表面修磨	验收标准	NB/T47013.4-2015	验收级别	I		
检测设备	磁粉探伤检测仪 CJE-12/220	设备编号	MRIE-D4210	灵敏度试片	A1: 30/100		
磁化时间	1~3s	检测方法	非荧光湿式交流连续法	磁化方式	磁轭法		
磁化规范	交流电提升力: ≥ 45N; 标准试片磁痕清晰	磁粉	黑磁粉	载液及浓度	水 / 10 ~ 25g/L		
磁化方向	纵向、横向交叉磁化	磁悬液施加方法	喷施	被检部位表面光照度	≥ 1000lx		
观察方式	肉眼 辅助工具	缺陷记录方式		R 照片 复膜 草图			
检测结果							
焊缝编号	焊工编号	检测长度 (mm)	缺陷位置	缺陷类型	缺陷长度 (mm)	级别	结论
T16-1	/	530	弯头与直管对接环焊缝上弧面, 热影响区及母材	裂纹	50	IV	不合格
T16-2	/	530	弯头与直管对接环焊缝上弧面, 热影响区及母材	裂纹	100	IV	不合格

(四) 超声测厚

超声测厚为最常用的无损检测方法，超声波无损检测技术凭借

范围广，方向准确，穿透力大，定位准确等特点备受青睐。^⑤ 超声波检测结果如表 5 所示，存在多处减薄严重位置，最小壁厚为 1.69mm。

表5 超声波测厚结果

管线名称	注水泵 A 泵入口管线		管线规格		Φ168.3×7.11mm		管线材质		20#	
设备名称	超声波测厚仪		设备型号		HCH-3000D		设备编号		MRIE-L4219	
编号	检测结果 (mm)					腐蚀情况 (mm)			备注	
	A~B	B~C	C~D	D~A	Min	腐蚀坑深度	纵向长度	环向长度		
W16-2	5.72	5.56	3.45	4.64	3.45	/	/	/	截面1	
	5.69	4.51	2.93	4.17	2.93	/	/	/	截面2	
	5.31	4.49	3.46	4.40	3.46	/	/	/	截面3	
W16-3	7.15	6.75	6.48	6.67	6.48	/	/	/	截面1	
	6.97	6.70	6.57	6.70	6.57	/	/	/	截面2	
	6.65	6.80	7.57	7.35	6.65	/	/	/	截面3	
W16-4	1.69	2.49	2.79	2.79	1.69	/	/	/	截面1	
	4.79	5.26	5.22	5.60	4.79	/	/	/	截面2	
	5.67	5.88	4.83	5.30	4.83	/	/	/	截面3	
	4.68	5.31	5.34	5.20	4.68	/	/	/	截面4	
CZ16-2	4.73	5.23	4.98	5.31	4.73	/	/	/	截面1	
	4.78	5.53	3.60	4.64	3.60	/	/	/	截面2	
	5.26	5.60	4.67	5.31	4.67	/	/	/	截面3	
	4.32	4.95	4.99	5.10	4.32	/	/	/	截面4	
CZ16-3	5.72	5.83	5.40	4.00	4.00	/	/	/	截面1	
	5.81	5.97	5.45	4.11	4.11	/	/	/	截面2	
	4.82	5.75	5.45	4.15	4.15	/	/	/	截面3	
T16-3	5.71	5.35	5.27	4.73	4.73	/	/	/	/	
T16-4	5.94	6.34	5.38	5.27	5.27	/	/	/	/	
T16-5	5.60	5.23	4.98	5.30	4.98	/	/	/	/	
T16-6	2.80	2.85	3.12	3.88	2.80	/	/	/	/	
T16-7	3.93	3.61	4.50	3.65	3.61	/	/	/	/	
T16-8	3.16	3.87	3.86	3.13	3.13	/	/	/	/	

二、管线风险分析评估

对注水泵 A 泵入口管线进行检测，发现问题如下：

1) 该管线存在保温层下腐蚀、内腐蚀、保温层破损、防腐层脱落失效等，其中入口过滤器至泵体进口管段壁厚整体减薄，泵前一弯头存在一腐蚀穿孔泄漏点。正常部位测得平均壁厚约 7.00mm，原始壁厚未知，外径 D0=168.3mm，公称壁厚取值 7.11mm，实测最小壁厚约 1.69mm，壁厚最大损失量 7.11mm（泄漏），最大腐蚀量 100%（泄漏）；

2) 磁粉探伤检测发现：入口过滤器前一弯头外弧侧及弯头焊缝热影响区存在多处轴向裂纹缺陷（编号 T16-1，T16-2），最长磁痕长度约 100mm，不符合标准 NB/T47013.4-2015 第 9.1 条要求：不允许任何裂纹显示。

对于壁厚减薄部位，按照《SHT 3059-2012 石油化工管线设计器材选用规范》中规定的相关方法进行评估：

已知，外径 D0=168.3mm，设计压力为 150Lb，材质为 20#，许用应力取 130MPa。参考 SHT 3059-2012 标准，焊缝系数 φ 取 1，焊缝接头强度降低系数 W 取 1；标准温度修正系数 Y

取0.4, 腐蚀余量取1.5mm。

(一) 直管最小壁厚计算:

$$(a) t=2 \times 168.3 / (2 \times 130 \times 1 + 2 \times 2 \times 0.4) = 1.29 \text{mm}$$

$$T = t + 1.5 = 2.79 \text{mm}$$

(b) 按 D0/150 确定的管子壁厚, D0 为管子外径, 单位 mm;

$$t = 168.3 / 150 = 1.12 \text{mm}$$

(c) 最小选用壁厚应符合规定中表 7.1.4, 此管为碳素钢, 参考表 7.1.4 得最小壁厚为 3.20mm;

结合 (a) ~ (c) 结果, 依据 SH/T 3059-2012 标准, 最小壁厚取值应为 3.20mm。

管线检测结论: 1) 一弯头存在腐蚀穿孔泄漏, 其他部位实测最小壁厚 1.69mm, 小于依据《SHT 3059-2012 石油化工管线设计器材选用规范》标准计算的最小要求壁厚 3.20mm, 已不能维持正常运行; 2) 入口过滤器前一弯头外弧侧及弯头焊缝热影响区存在裂纹缺陷, 最长磁痕长度约 100mm, 不符合标准 NB/T 47013.4-2015 第 9.1 条要求, 已不能维持正常运行。

评估及建议: 对泄漏弯头及壁厚小于 3.20mm 的管段进行更换或补强防护; 对入口过滤器前弯头进行更换或者补强防护, 可采用纤维增强复合材料, 纤维增强复合材料 (FRP) 具有质轻、比强度高、耐腐蚀以及热膨胀系数小等优点^[6]; 定期检测, 关注壁厚变化情况; 对破损保温及防腐层进行修复。

三、结论

某海上平台生产系统工艺管线通过多种无损检测方法结合的方式详细排查了腐蚀隐患, 发现多处腐蚀问题, 通过评估分析, 提出不同的修复建议。某海上平台主要存在外腐蚀、表面裂纹、内部腐蚀、建造缺陷等问题。对于存在壁厚减薄但无泄漏风险的管线, 需要制定检测计划, 定期检测, 关注壁厚变化情况; 对于存在表面浅层裂纹的, 打磨消除后, 再次检测未发现缺陷磁痕显示, 维持正常运行; 对于评估不合格强度要求的管线, 立即制定维修更换或补强计划, 依照计划开展维修。

参考文献:

- [1] 王海, 孙宗腾, 李文言等. 某油田海上平台工艺管线综合无损检测方案的应用 [J]. 全面腐蚀与防护, 2022, 36(06): 47-50.
- [2] 何存富, 郑明方, 吕炎等. 超声导波检测技术的发展、应用与挑战 [J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(8): 1713-1735.
- [3] 张阳, 徐新民, 王艳杰. 无损检测方法在压力容器检验中的应用 [J]. 设备与技术, 2021(11): 120-122.
- [4] 周乐, 张志文. 无损检测及其新技术 [J]. 重庆工学院学报, 2006, 20(8): 46-48.
- [5] 李世杰. 无缝钢管质量检测中超声波检测技术的应用研究 [J]. 仪器仪表用户, 2022, 29(07): 14-16, 63.
- [6] 贾彬, 张志伟, 陈晓强. 纤维增强复合材料加固金属管线试验研究与设计分析 [J]. 工业建筑, 2013, 43(07): 56, 62-65.