

基于 DNV GL 标准的全自动超声波检测项目验证方法

裴 彪, 赵明达, 李 洋

(海洋石油工程股份有限公司工程技术服务公司, 天津 300452)

摘 要: 耐腐蚀合金复合材料(CRA)海底管道主要应用于高酸性油气介质的输送。规格通常是管径为 168.3~508 mm, 壁厚为 14.1~31.6 mm, 耐腐蚀合金层厚度为 3 mm。根据标准 DNV-OS-F101(2013)《海底管线系统》要求, 全自动超声波检测(AUT)工艺需要经过验证, 确保 AUT 与宏观切片评定的缺陷高度差值小于 1 mm。由于 CRA 复合材料海底管道规格各异, AUT 检测工艺也需要进行相应的调整。文章基于管径为 508 mm、壁厚为 31.6 mm(CRA 厚度为 3 mm)的管道进行了项目验证, 通过 AUT 试块校准、人工缺陷焊缝制作、缺陷焊缝扫查、宏观切片和数据分析, 最终评定出 AUT 检测工艺的缺陷检出能力和缺陷高度定量精度。有望在耐腐蚀合金复合材料(CRA)海底管道环焊缝检测工作中得到应用。

关键词: DNV-OS-F101 (2013); 全自动超声波检测; 项目验证方法; 定量精度

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2020)09-0028-05

Project validation method of AUT inspection based on DNV GL standard

PEI Biao, ZHAO Mingda, LI Yang

(Technical Service Division, Offshore Oil Engineering Co., Ltd., Tianjin 300452, China)

Abstract: CRA pipeline was designed for transferring the gas and oil with high acidic. The diameter of the CRA pipeline is from 168.3 mm to 508 mm with its wall thickness being between 14.1 to 31.6mm with 3mm cladding inside the pipe. Based on the requirement of DNV-OS-F101 (2013), a validation test shall be performed to verify that the height-sizing difference between AUT and macro section of the defect shall be within ± 1 mm. Due to the difference of the dimension of the CRA pipeline, the AUT technique shall need some adjustment. Based on the pipe with the dimension O. D 508 mm, W. T 31.6mm (internal cladding 3 mm), the article describes the details of project validation method, which includes AUT calibration, defective welds manufacturing, scanning, macro sectioning and data analysis, so as to evaluate the detection ability and height sizing accuracy of the AUT technique. It is hopeful that the practical application of the above-mentioned method in the inspection of the girth welds of CRA subsea pipeline shall be realized.

Key words: DNV-OS-F101 (2013); AUT; project validation method; sizing accuracy

油田原油的含硫量高、腐蚀性强,为了提高输送该原油海底管道的使用寿命,耐腐蚀合金复合材料(CRA)海底管道得到了较多的应用。CRA 复合材料海底管道通常通过机械或冶金复合的方式在 API

5L X65 的碳钢海管内部复合 3 mm 厚的 625 不锈钢。

为了保证该复合材料海底管道环焊缝的焊接质量,目前国内外通常采用全自动超声波检测技术(AUT)进行检测。但由于 CRA 复合材料规格的差异,相关 AUT 检测工艺^[1]需要进行项目验证,以确保该检测工艺满足项目要求。

文章以管径为 508 mm,壁厚为 31.6 mm 的 CRA 复合材料海管为例,阐述了 AUT 项目验证

收稿日期:2020-02-27

作者简介:裴 彪(1987—),男,高级工程师,主要从事海底管线质量控制及 AUT 技术应用方面的工作

通信作者:裴 彪, yimignet@163.com

的方法。

1 项目验证准备

海底管道管径为 508 mm，壁厚为 31.6 mm，焊缝坡口如图 1 所示。

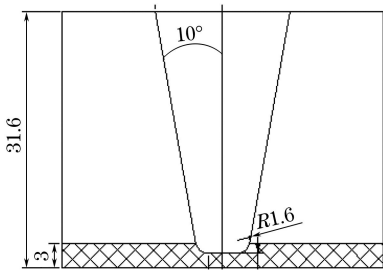


图 1 CRA 焊缝坡口示意

根据坡口参数，设计并加工了 AUT 校准试块，是基于项目管料和焊接工艺，按照标准 DNV-OS-F101(2013)《海底管线系统》要求进行设计的。表 1 为 AUT 校准试块的反射体参数，图 2 为

AUT 校准试块反射体布置示意。在试块上校准 AUT 检测系统，校准结果如图 3 所示。

表 1 AUT 试块反射体参数

反射体	角度/ (°)	规格/ mm	探头侧深度/ mm	中心深度/ mm	远侧深度/ mm
RN	90	1×1	—	30.60	—
R56	56	3.0	27.49	29.80	—
HP	55	3.0	24.77	27.51	29.37
F1	60	3.0	21.87	24.42	26.56
F2	60	3.0	18.06	21.00	23.39
F3	60	3.0	14.20	17.54	20.25
F4	65	3.0	11.69	14.60	17.06
F5	65	3.0	8.09	11.29	14.00
F6	70	3.0	6.18	8.80	11.10
F7	75	3.0	4.00	6.03	7.88
V1	55	2.5	22.23	25.28	27.65
V2	65	2.5	16.45	18.96	21.09
V3	70	2.5	10.28	15.64	14.71
V4	75	2.5	4.30	6.32	8.16

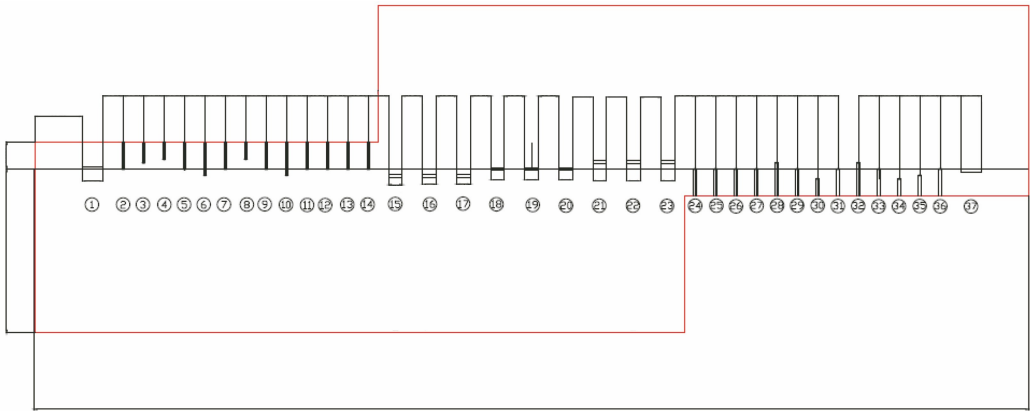


图 2 AUT 校准试块反射体布置示意

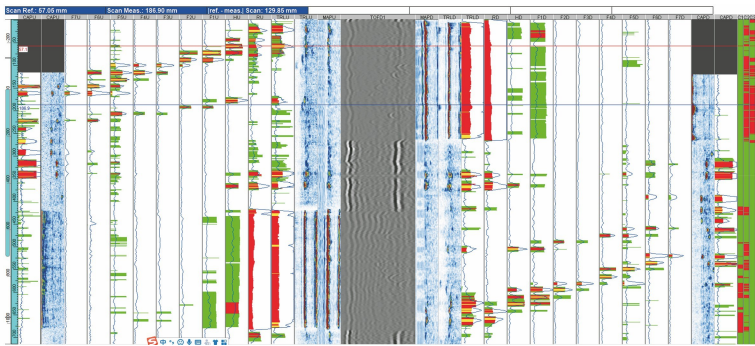


图 3 AUT 检测系统校准结果

2 项目验证试验

2.1 人工缺陷的设计加工

根据 AUT 项目验证要求，制作了 3 个管径为 508 mm、壁厚为 31.6 mm 带有焊接缺陷的 CRA

复合材料海底管道，并在焊缝的各个分区(根部区域、热焊区域、填充区域、盖面区域等)加工了共计 29 个人工缺陷，缺陷类型包括未焊透、侧壁未熔合、层间未熔合和密集气孔等。缺陷分布及数量如表 2 所示。

2.2 AUT 扫查试验

人工缺陷焊缝加工完成后,使用完成校准的 AUT 系统对 3 条人工缺陷焊缝分别进行扫查,单条焊缝扫查的结果如图 4 所示。

对用 AUT 扫查得到的 3 条人工缺陷焊缝的数据进行分析^[2]。数据如表 3 所示。可见,在编号为 W01,W02,W03 的 3 条人工缺陷焊缝加工 29 个人工缺陷,AUT 检测工艺将其全部检出。

表 2 人工缺陷分布及数量

焊缝区域	缺陷类型	数量
根部	未焊透	7
	侧壁未熔合	6
热焊	侧壁未熔合	7
	层间未熔合	1
填充	密集气孔	1
	侧壁未熔合	7
盖面	侧壁未熔合	7

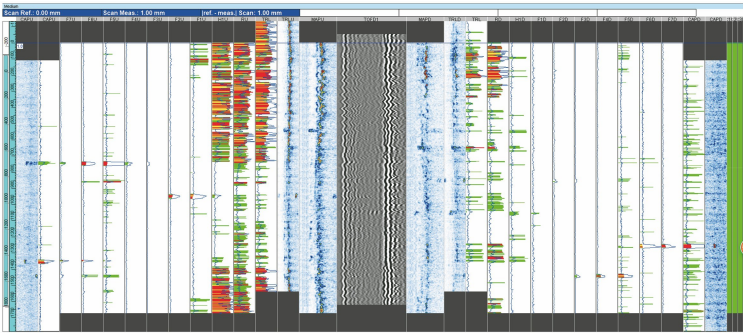


图 4 单条焊缝的 AUT 扫查结果

表 3 AUT 检出数据

序号	焊口号	壁厚/mm	区域	US/DS (上游/下游)	起点	长度/mm	高度/mm	深度/mm	幅值 (FSH/%)	TOF(时间 位置/mm)
1	W01	31.6	根部	C(焊缝中间)	230	15	0.8	31.6	67	1.1
2	W01	31.6	热焊	US	535	15	1.2	28.0	48/28	-1.8/1.2
3	W01	31.6	填充	US	733	27	2.6	9.5	67	-7.2
4	W01	31.6	填充	DS	838	28	2.3	15.0	100	-7.4
5	W01	31.6	填充	US	934	31	2.6	20.0	78	-12.8
6	W01	31.6	盖面	DS	1 244	24	2.0	2.0	100	0.1
7	W01	31.6	盖面	US	1 341	24	1.9	3.5	79/56	-1.1/-10.1
8	W01	31.6	填充	C	1 428	23	2.3	9.0	72	-12.4
9	W02	31.6	根部	C	27	19	0.6	31.6	50	0.6
10	W02	31.6	根部	C	123	23	0.5	31.6	39	1.2
11	W02	31.6	根部	C	346	17	1.0	31.6	44/43	-0.1/2.7
12	W02	31.6	热焊	DS	435	19	1.5	28.0	55	1.9
13	W02	31.6	热焊	US	521	23	1.8	27.0	91/59	-5.8/2.1
14	W02	31.6	填充	DS	830	28	2.3	16.0	100	-7.4
15	W02	31.6	填充	US	929	34	2.3	19.0	76/88	-5.0/-12
16	W02	31.6	填充	DS	1 035	22	2.0	26.0	54/84	-10.2/-5.8
17	W02	31.6	盖面	US	1 138	23	1.1	1.1	97	-0.7
18	W02	31.6	盖面	DS	1 235	25	1.4	1.4	100	-1
19	W02	31.6	盖面	US	1 339	15	2.4	3.5	100	-9.8
20	W02	31.6	填充	C	1 523	38	3.1	8.0	100/100	-6.7/-12.6
21	W03	31.6	根部	C	17	28	0.7	31.6	58	-0.3
22	W03	31.6	根部	C	130	13	0.8	31.6	59	0.7
23	W03	31.6	根部	C	219	17	0.5	31.6	41	0.9
24	W03	31.6	热焊	DS	421	24	1.1	28.0	50/35	NA/2.4
25	W03	31.6	热焊	US	525	25	1.0	28.0	70/32	NA/1.7
26	W03	31.6	热焊	DS	621	19	1.5	29.5	42/59	1.2/3.9
27	W03	31.6	填充	US	933	20	2.2	19.0	70	-11.5
28	W03	31.6	盖面	DS	1 231	20	1.6	1.6	100	0
29	W03	31.6	盖面	US	1 334	24	2.4	2.4	100	-1.7

2.3 附加 RT 验证试验

对 3 条人工缺陷焊缝一一进行 RT(射线)检测,确保 RT 检测 0 点和方向与 AUT 检测 0 点和方向保持一致。并对 RT 底片进行数据评定。

RT 检测数据如表 4 所示。在编号为 W01,W02,W03 的 3 条人工缺陷焊缝的根部、热焊、填充和盖面区域分别加工了 29 个人工缺陷。由表 4 可知,常规 RT 检测工艺将 29 个人工缺陷全部检出。

2.4 宏观切片验证试验

对编号为 W01,W02,W03 的 3 条人工缺陷焊缝中的 29 个人工缺陷进行宏观切片^[3],宏观切片如图 5 所示。

3 数据对比分析

将 AUT 扫查数据与宏观切片数据进行对比分析,相关数据如表 5 所示。

表 4 RT 检测数据

试件 编号	缺陷 类型	焊缝 区域	设计缺陷 数量	RT 缺陷 检出数量
W01	未焊透	根部	1	1
	侧壁未熔合	热焊	1	1
	侧壁未熔合	填充	3	3
	侧壁未熔合	盖面	2	2
	层间未熔合	填充	1	1
W02	根部未焊透	根部	3	3
	侧壁未熔合	热焊	2	2
	层间未熔合	填充	3	3
	盖面未熔合	盖面	3	3
	密集气孔	填充	1	1
W03	根部未焊透	根部	3	3
	侧壁未熔合	热焊	3	3
	层间未熔合	填充	1	1
	盖面未熔合	盖面	2	2

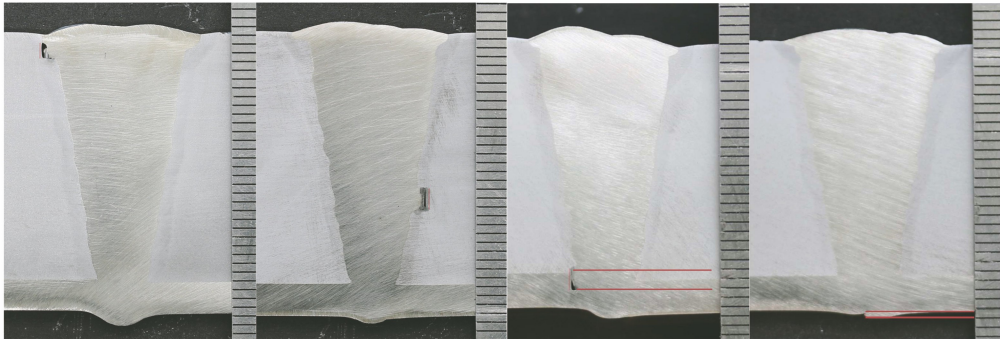


图 5 缺陷宏观切片检验结果

表 5 AUT 与宏观切片数据对比分析

焊口号	壁厚/mm	区域	US/DS (上游/下游)	AUT 数据/mm				宏观切片数据/mm		高度差(AUT- 切片)/mm
				起始	长度	高度	深度	高度	深度	
W01	31.6	根部	C	230	15	0.8	31.6	0.4	31.6	0.4
W01	31.6	热焊	US	535	15	1.2	28.0	1.2	29.0	0.0
W01	31.6	填充	US	733	27	2.6	9.5	2.1	9.5	0.5
W01	31.6	填充	DS	838	28	2.3	15.0	2.1	15.5	0.2
W01	31.6	填充	US	934	31	2.6	20.0	2.5	20.0	0.1
W01	31.6	盖面	DS	1 244	24	2.0	2.0	2.0	3.0	0.0
W01	31.6	盖面	US	1 341	24	1.9	3.5	1.1	2.8	0.8
W01	31.6	层间*	C	1 428	23	2.3	9.0	—	—	—
W02	31.6	根部	C	27	19	0.6	31.6	0.6	31.6	0.0
W02	31.6	根部	C	123	23	0.5	31.6	0.3	31.6	0.2
W02	31.6	根部	C	346	17	1.0	31.6	0.5	31.6	0.5
W02	31.6	热焊	DS	435	19	1.5	28.0	1.6	27.5	-0.1
W02	31.6	热焊	US	521	23	1.8	27.0	2.0	28.0	-0.2
W02	31.6	填充	DS	830	28	2.3	16.0	2.1	16.5	0.2
W02	31.6	填充	US	929	34	2.3	19.0	2.5	20.0	-0.2
W02	31.6	填充	DS	1 035	22	2.0	26.0	2.6	25.0	-0.6
W02	31.6	盖面	US	1 138	23	1.1	1.1	0.8	1.9	0.3
W02	31.6	盖面	DS	1 235	25	1.4	1.4	1.7	2.2	-0.3

表 5(续)

焊口号	壁厚/mm	区域	US/DS (上游/下游)	AUT 数据/mm				宏观切片数据/mm		高度差(AUT-切片)/mm
				起始	长度	高度	深度	高度	深度	
W02	31.6	盖面	US	1 339	15	2.4	3.5	2.2	3.6	0.2
W02	31.6	层间	C	1 523	38	3.1	8.0	—	—	—
W03	31.6	根部	C	17	28	0.7	31.6	0.4	31.6	0.3
W03	31.6	根部	C	130	13	0.8	31.6	0.3	31.6	0.5
W03	31.6	根部	C	219	17	0.5	31.6	0.4	31.6	0.1
W03	31.6	热焊	DS	421	24	1.1	28.0	1.4	28.0	-0.3
W03	31.6	热焊	US	525	25	1.0	28.0	1.9	27.0	-0.9
W03	31.6	热焊	DS	621	19	1.5	29.5	2.3	27.0	-0.8
W03	31.6	填充	US	933	20	2.2	19.0	2.4	19.5	-0.2
W03	31.6	盖面	DS	1 231	20	1.6	1.6	1.7	1.7	-0.1
W03	31.6	盖面	US	1 334	24	2.4	2.4	2.3	2.8	0.1

根据标准 DNV-OS-F101(2013)要求,体积型缺陷无需对缺陷高度进行定量。

各缺陷 AUT 评定的高度与宏观切片评定的高度分布如图 6 所示。

由表 5 和图 6 可知,AUT 评定的缺陷高度与宏观切片评定的缺陷高度,最小差值为 0,最大差值为 -0.9 mm,差值均小于±1 mm。

4 结语

文章以管径为 508 mm,壁厚为 31.6 mm 的 CRA 的复合材料海底管道为例,详细描述了 AUT 检测的项目验证过程以及数据分析方法,通过对比分析 29 个人工缺陷 AUT 评定的高度与宏观切片测量所得的高度,得到该 AUT 工艺满足项目验证中缺陷高度偏差小于±1 mm 的要求的结论,能应用于该规格的海底管道环焊缝的检测。

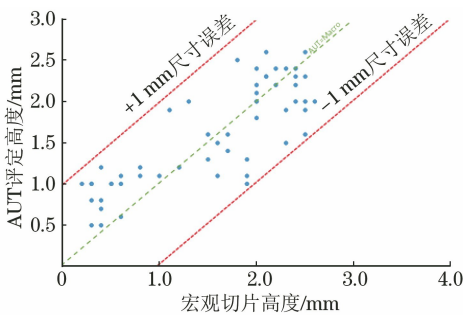


图 6 AUT 与宏观切片检测高度差值分布

参考文献:

[1] 裴彪,徐振,常宇. 耐腐蚀合金复合材料海底管道环焊缝各区域全自动超声波检测[J]. 无损检测,2016,38(9):46-48.

[2] 孙晓明,裴彪,尤卫宏,等. 海底管道环焊缝 AUT 检测缺陷高度定量分析[J]. 中国造船,2013,54(2):353-357.

[3] 吴员,陈亮同,张俊杰,等. 海底管道无损检测技术评定的破坏性试验[J]. 无损检测,2019,41(11):34-35.

(上接第 24 页)

4 结语

在余热排出系统热交换器的检漏工作中,提出“橡胶塞和覆塑料薄膜”相结合的方法,采用对冷端和热端区域均进行封堵的方式,分别对热交换器的管束和管口胀接焊缝进行氦气检漏。

(1) U 形管式热交换器发生热端泄漏的概率明显大于冷端的,说明热端管束的运行环境更为恶劣,存在泄漏的风险更大。

(2) 使用“橡胶塞和覆塑料薄膜”相结合的方法

对 U 形管式热交换器的管束和胀接焊缝进行氦气检漏,可有效缩小检查范围,定位准确,大大缩短了检漏时间,提高了检漏效率。

参考文献:

[1] 冯聪. 开放式结构换热器管子管板焊缝氦检漏新型检测装置的应用 [J]. 压力容器,2012,29(12):71-75.

[2] 丁训慎. 核电站蒸汽发生器制造和停堆期间的泄漏检验[J]. 无损检测,2009,31(2):159-161.

[3] 周胜. 氦检漏技术在核电站蒸发器传热管密封性试验中的应用[J]. 核科学与工程,2017,37(5):818-819.

[4] 吴孝检. 泄漏检测[M]. 北京:机械工业出版社,2005.