

海底管线 AUT 分区法缺陷高度定量测量修正方法

陈亮,孙晓明,尤卫宏,张俊杰,吴员,裴彪,马仕伟,张卫东

(海洋石油工程股份有限公司,天津 300452)

摘要:针对海底管线 AUT 分区法缺陷高度定量测量存在较大误差的情况,分析了分区法高度定量误差产生的原因,通过理论分析提出高度定量测量修正方法,通过试验对比分析,证明了高度定量修正方法的正确性及可靠性^[1-4],并得到第三方机构的认可。对于根部,表面及内部缺陷,通过此方法修正后,可使 AUT 分区法定量测量精度提高到 1 mm 以内,充分发挥了海底管线不同位置缺陷不同评定方法的优势,为今后海底管线铺设提供更好的质量保障。

关键词:分区法;相控阵;高度定量修正;ECA

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2014)07-0081-04

Height Sizing Correction for Submarine Pipeline AUT Zone Discrimination Method

CHEN Liang, SUN Xiao-ming, YOU Wei-hong, ZHANG Jun-jie, WU Yuan, PEI Biao, MA Shi-wei, ZHANG Wei-dong

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

Abstract: The reasons that large quantitative errors existed in submarine pipeline AUT zone discrimination height sizing were analyzed through the theoretical analysis method and the height sizing quantitative correction methods were proposed. The accuracy and reliability of the correction method was verified, and received the third party acceptance. For root, surface and inter defects, AUT zone discrimination height sizing accuracy was improved to less than 1mm after adopting sizing correction and showed advantages of different location defects being with different evaluating methods. It can provide better quality assurance for future submarine pipeline laying.

Keywords: Zone discrimination; Phased array; Height sizing correction; ECA

海底管线是海洋油气集输与储运的一个重要组成部分。海底管线所处环境恶劣,其损伤和缺陷的存在会在很大程度上降低管线的承载能力,缩短管线的使用寿命,一旦管线破裂将造成巨大的经济损失和环境污染。因此,提高海底管线缺陷检测和安全评估的准确性对促进海洋石油安全开发、预防海洋环境污染有着十分重要的意义。

全自动相控阵超声波(AUT)检测系统自 2002 年首次应用于国内海底管线铺设检验以来,其高效、环保、自动化等优势得到充分的发挥。近年来,全自动焊接技术在海底管线铺设以及 ECA(Engineering Criteria Assessment)验收标准在工程上得到了广泛应用,由于 ECA 验收标准是通过试验确

定的缺陷高度与长度的对应关系,即不同的缺陷高度具有不同的合格长度,要求全自动超声波定量测量精度高,可充分发挥 ECA 验收标准的优势。笔者通过将人工缺陷的分区法高度定量与实际尺寸进行分析比较,总结出分区法高度定量修正方法,并通过大量的试验验证分区法高度定量修正方法的正确性及可靠性,由此可有效提高分区法定量的精度,降低缺陷放大带来的不必要的返修,提高工程质量及现场施工效率。

1 基本原理

1.1 相控阵超声波检测基本原理

与传统超声波检测^[4]不同,相控阵超声波检测系统采用多声束扫描成像技术,超声波检测探头是由多个晶片组成的换能器阵列,阵列单元在发电电路激励下以可控的相位激发出超声波,并使超声波声束在确定的声场处聚焦,其基本原理如图 1 所示。

收稿日期: 2014-01-06

作者简介: 陈亮(1983—),男,工程师,主要从事海洋平台,海底管线检测技术应用研究。

声场控制通过在发射脉冲和接收信号的过程中引入相位控制来实现。

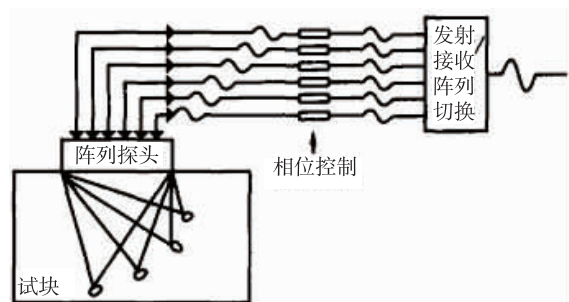


图1 相控阵超声波检测基本原理

1.2 分区法

分区法,即根据检测焊缝壁厚、坡口形式将焊缝分成几个垂直的分区(如图2)。每个分区的高度一般为1~3 mm,每个分区都由一组独立的晶片进行扫查(这种分区的扫查被称为A扫)。每个分区以焊缝中心线为界,分为上游、下游两个通道,其检测结果在带状图上以相对应的通道显示出。目前,国内海底管线使用全自动相控阵超声波检测系统的缺陷高度定量测量采用分区法。对于超过阈值显示的通道,高度定量测量采用分区高度的累加作为缺陷的高度,在以往的工程项目中,发现实际缺陷高度小于分区法缺陷定量测量高度,两者之间存在较大误差,从而会降低缺陷的合格长度,增加高度定量测量误差带来的不必要的焊缝返修。

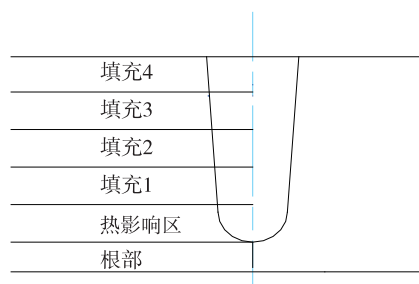


图2 焊缝分区

2 缺陷高度定量测量修正方法

2.1 设备

AUT 系统采用 PipeWIZARD V2 系统,包括工业计算机,数据采集单元,马达控制单元、扫查器、水泵、独立相控阵探头、TOFD 探头等组件。

2.2 人工缺陷试样

制作了两组人工缺陷焊缝,第一组规格为 168.3 mm×15.9 mm 的 J 型及规格为 168.3 mm×12.7 mm 的 V 型各 2 个人工缺陷焊缝,缺陷高度为

1 mm 和 2 mm 的对比焊缝,每个焊缝包括 5 个缺陷;第二组制作了 49 个 168.3 mm×15.9 mm 的 J 型及 39 个 168.3 mm×12.7 mm 的 V 型人工缺陷焊缝,缺陷设计高度为 0.5~2.5 mm 的试验焊缝,深度覆盖整个壁厚。缺陷类型包括根部未焊透、根部及填充过度区域未熔合、填充区侧壁未熔合、焊缝余高区侧壁未熔合、层间未熔合和密集气孔等缺陷。

2.3 试验方法

①用 AUT 设备对第一组人工缺陷试样进行扫查,评定。②将第一组 AUT 扫查所显示的缺陷进行切片。③将 AUT 扫查缺陷定量尺寸与缺陷实际尺寸进行对比,确定 AUT 高度评定修正方法。④对第二组数据进行扫查,并用修正后的评定方法进行数据评定。⑤将第二组 AUT 评定的缺陷进行切片。⑥通过对 AUT 定量尺寸与切片尺寸进行对比,评定修正方法的准确性。

3 数据分析

3.1 AUT 定量图像及宏观图像显示

AUT 定量采用的图像采用带状图(见图3),B 扫描图(见图4)及 TOFD(见图5)综合评定。宏观图像(见图6)采用切片,经过酸蚀,烘干,拍照(x5 倍),测量缺陷尺寸。

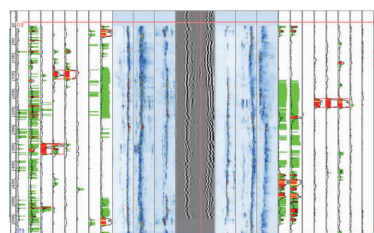


图3 带状图

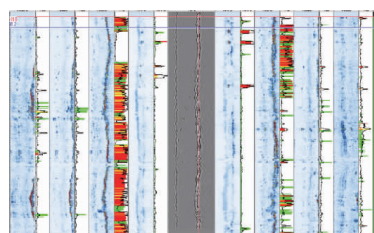


图4 B扫描图

3.2 AUT 定量与宏观切片数据分析

通过对第一组人工缺陷焊缝 AUT 扫查数据进行评定,AUT 定量采用传统分区高度法进行测量,将 AUT 评定数据与宏观切片数据进行对比分析,对 AUT 数据高度定量进行修正。对比数据如表 1

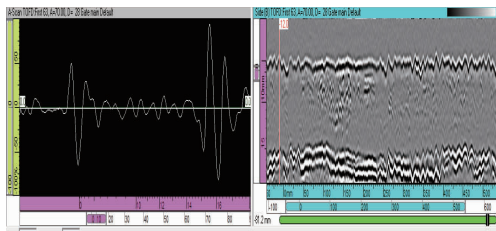


图5 TOFD显示

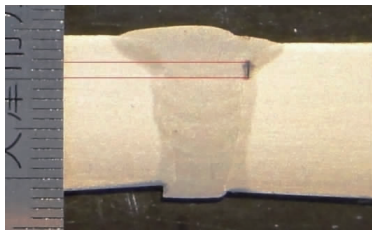


图6 宏观分析图像

所示,表格中无数据的表示无显示。

由表1可见,AUT采用分区法进行高度定量缺陷尺寸,根焊区与实际尺寸较吻合,填充区显示出

显的放大,尤其对于多个区显示的缺陷,放大最多达6.7倍,而TOFD显示出了较高的定量测量精度。

3.3 分区法高度定量修正

结合AUT分区扫查的特点,对试验数据进行分析,在进行AUT高度定量时,充分利用不同显示的优势,对不同显示类型的缺陷进行综合评定,同时考虑到缺陷显示信号在闸门中的位置,相邻通道的有效覆盖以及波幅影响,从而确定AUT分区法高度定量修正方法如下:

(1) 针对不同分区,建立波幅与缺陷高度修正表格(见表2),同时应充分考虑相邻通道波幅的有效覆盖,其中反射体高度在每个通道依次分别为1,2,2.4,2.78,2.78,2.78,2.78,1 mm。

(2) 对于根部缺陷,要充分考虑缺陷出现的时间迟早进行定量。

(3) 对于内部缺陷TOFD显示具有明显相位变化的缺陷,利用TOFD进行高度定量。

表1 AUT分区法缺陷定量测量与宏观切片数据对比

焊缝编号		JT01				JT02			
缺陷编号		D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
高度/mm	切片	0.8	1	0.8	0.4	1	1.8	2.2	1.8
	AUT	1	2.8	2.8	2.8	1	5.6	8.4	5.6
显示区域		RD	F1U	F3D	F4U	RU	F1U/F2U	F1D/F2D/F3D	F2U/F3U
波幅/%		75	100	54	55	100	100/100	74/100/100	100/100
TOFD法测量高度/mm		—	2.3	0.8	—	—	2.3	2.6	2.5

表2 缺陷显示波幅与当量值对应关系

波幅高度/%	R1 当量值	LCP 当量值	HP 当量值	F1 当量值	F2 当量值	F3 当量值	F4 当量值	FC1 当量值
	/mm	/mm	/mm	/mm	/mm	/mm	/mm	/mm
0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
10	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
15	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
20	0.2	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2
25	0.3	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3
30	0.3	0.6	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3
35	0.4	0.7	1	0.7	0.7	0.7	0.7	0.4
40	0.4	0.8	1.2	0.8	0.8	0.8	0.8	0.4
45	0.5	0.9	1.2	0.9	0.9	0.9	0.9	0.5
50	0.5	1	1.3	1	1	1	1	0.5
55	0.6	1.1	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1	0.6
60	0.6	1.2	1.4	1.2	1.2	1.2	1.2	0.6
65	0.7	1.3	1.5	1.3	1.3	1.3	1.3	0.7
70	0.7	1.4	1.6	1.4	1.4	1.4	1.4	0.7
75	0.8	1.5	1.8	1.5	1.5	1.5	1.5	0.8
80	0.8	1.6	1.9	1.6	1.6	1.6	1.6	0.8
85	0.9	1.7	2	1.7	1.7	1.7	1.7	0.9
90	0.9	1.8	2.2	1.8	1.8	1.8	1.8	0.9
95	1	1.9	2.3	1.9	1.9	1.9	1.9	1
100	1	2	2.4	2	2	2	2	1

3.4 修正后进行 AUT 定量精度验证

制作 125 个缺陷,缺陷位置及类型分别是上表面未熔合缺陷 30 个,根部未熔合未焊透缺陷 30 个,热焊区未熔合缺陷 30 个,填充区未熔合缺陷 30 个,层间未熔合缺陷 3 个,上表面气孔缺陷 2 个。通过高度定量修正对缺陷进行宏观切片(不同位置缺陷

的 AUT 带状图,TOFD 方法与切片评定的缺陷高度对比见表 3),通过对 AUT 定量高度与缺陷切片实际高度进行对比($H_{AUT}-H_{MS}$),最大正偏差为 0.8 mm,最大负偏差为 0.7 mm,缺陷标准偏差为 0.323 mm,见图 7。

表 3 AUT 带状图,TOFD 方法与宏观切片方法评定的缺陷高度测量对比 mm

序号	缺陷编号	缺陷类型	切片深度	切片高度	带状图评定高度	带状图高度误差	TOFD 评定高度	TOFD 高度误差
1	J17-3	根部未焊透	15.9	1.2	1.5	0.3	—	—
2	J18-1	根部未熔合	15	0.9	1.4	0.5	1.4	0.5
3	J21-1	根部未焊透	15.9	1.0	1.7	0.7	—	—
4	J24-1	根部未熔合	15.2	1.0	1.5	0.5	1.8	0.8
5	J12-2	热焊区未熔合	13.7	1.3	2.4	1.1	1.5	0.2
6	J12-5	热焊区未熔合	13.7	1.1	2.4	1.3	1.6	0.5
7	J25-3	填充区未熔合	8.5	2.5	3.6	1.1	2.6	0.1
8	J30-3	填充区未熔合	9.8	2.5	4.4	1.7	2.5	0
9	J12-5	热焊区未熔合	13.7	1.1	2.4	1.3	1.2	0.1
10	J25-3	填充区未熔合	8.5	2.5	3.6	1.1	2.6	0.1
11	J30-3	填充区未熔合	9.8	2.5	4.4	1.7	2.7	0.2
12	J24-4	盖面区未熔合	3.8	1.5	2.0	0.5	—	—
13	J30-4	盖面区未熔合	4	1.6	1.7	0.1	—	—
14	J36-5	盖面区未熔合	4	1.8	2.2	0.4	—	—
15	J45-4	盖面区未熔合	3	0.4	0.8	0.4	—	—

由表 3 的数据得知,在根部和盖面区域,AUT 带状图对缺陷的高度定量明显优于 TOFD 检测方法;在填充区域且具有明显相位变化的 TOFD 显示,缺陷高度定量误差为 0.2 mm,AUT 带状图的缺陷高度定量误差为 1.3 mm。对于根部及表面区域,利用带状图波幅定量具有较高的定量精度,而对于埋藏类缺陷,利用 TOFD 进行高度定量具有更高的精度。

方法,使得 AUT 定量测量精度更加精确,对于具有明显相位变化的缺陷,采用 TOFD 定量具有较高精度,而对于利用波幅进行定量的缺陷充分考虑相邻通道的有效覆盖及信号时间进行综合评定。

通过对 AUT 分区法高度定量进行修正,可有效提高缺陷评定精度,更好发挥 ECA 验收标准在海底管线铺设过程中应用的优势,降低因缺陷放大造成的焊缝返修,提高铺管效率,节约成本投入。

参考文献:

[1] DNV-OS-F101 海底管线系统[S],2012.
[2] 黄晶. 超声相控阵理论及其在海洋平台结构焊缝缺陷检测中的应用研究[D]. 上海:上海交通大学,2005.
[3] Saipem, Automated ultrasonic testing of pipeline[J]. Girth Welds, 2001,9.
[4] 美国无损检测学会编. 美国无损检测手册[M]. 美国无损检测手册译审委员会译. 上海:世界图书出版公司,1994.

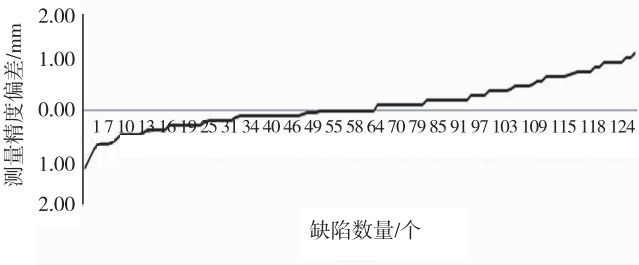


图 7 AUT 测高与缺陷实际高度的标准偏差(STDEV)

4 结论

经过试验结果分析,采用修正后的高度定量