

钢悬链线立管焊缝的自动超声检测

陈 亮, 张天江, 吴 员

(海洋石油工程股份有限公司, 天津 300452)

摘 要:在对钢悬链线立管(SCR)焊缝进行自动超声检测(AUT)的过程中,要求 AUT 具有可靠的检测能力和较高的检测精度。通过修正 AUT 缺陷评定方法,验证了 AUT 焊缝缺陷评定结果与金相检验结果的可靠性。结果表明,修正后的 AUT 评定结果与缺陷实际尺寸具有良好的一致性,为基于工程临界分析(ECA)验收标准的 SCR 管线的安装工程应用提供了借鉴。

关键词:钢悬链线立管;自动超声检测;焊缝;相控阵

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2021)07-0045-04

Automatic ultrasonic inspection of steel catenary riser welds

CHEN Liang, ZHANG Tianjiang, WU Yuan

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

Abstract: During automatic ultrasonic testing (AUT) of steel catenary riser (SCR) welds, it is required that the AUT technology should have reliable detection ability and high detection accuracy. The reliability of the AUT weld defect evaluation results and the metallographic examination results was verified by the modified AUT defect evaluation method. The results show that the modified AUT evaluation results are in good agreement with the actual size of the defect, which provides a reference for the installation engineering application of SCR pipeline based on the engineering critical analysis (ECA) acceptance standard.

Key words: steel catenary riser; automatic ultrasonic testing; weld; phased array

钢悬链线立管(SCR)是深海油气开发半潜平台的重要组成部分,由于其受力状态特殊,所以需要严格控制焊缝质量,目前自动超声检测(AUT)已成为此类管线的首选检测方法。DNVGL-ST-F101—2017 和 API 1104—2008 标准中的基于经验的焊接缺陷验收标准已不能满足此类焊缝的检测需求,需根据工程临界分析(ECA)技术建立项目专用的焊缝缺陷验收标准,要求 AUT 技术具有高定量精度,以满足工程应用的需要。笔者介绍了 SCR 焊缝质量检测技术,对缺陷的高度定量进行了修正,提高了缺陷高度的定量精度。

1 检测对象

钢悬链线立管集海底管线与立管于一身,用来连接海底生产系统与油气处理平台,其分为常规海管区域、非关键区域和关键区域。SCR 管线设计如图 1 所示。

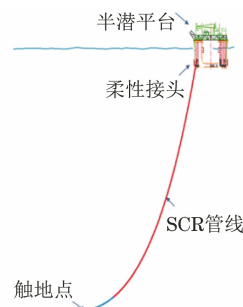


图 1 SCR 管线设计示意

2 检测方法

SCR 管线在服役期间受到循环应力的作用,但不

收稿日期: 2020-12-07

基金项目: 国家重点研发计划课题资助项目(2018YFC0310305)

作者简介: 陈 亮(1983—),男,本科,高级工程师,主要从事海底管线检测工艺开发与应用工作

通信作者: 陈 亮, chenliang@mail.cooc.com.cn

允许对焊缝进行任何返修作业,因此精确评定缺陷的尺寸至关重要。射线检测不能测定缺陷的高度和深度,常规超声检测和相控阵检测技术的高度定量精度不足,所以均不适用于此类管线的焊缝检测。相控阵 AUT 既具有发现微小缺陷的能力,也能满足高度定量精度的要求,可以用来检测海底管线焊缝。

DNVGL-ST-F101-2017 标准规定了用分区法相控阵 AUT 对海底管线焊缝进行检测。管线采用 ECA 技术验收,某 SCR 海底管线项目的典型 ECA 验收标准如表 1 所示。

表 1 某海底管线项目的典型 ECA 验收标准

mm			
缺陷高度	缺陷允许长度	缺陷高度	缺陷允许长度
1	17	4	8
2	13	5	6
3	10		

3 AUT 的原理

3.1 相控阵原理

相控阵技术分别对阵列中的每个晶片延时发射

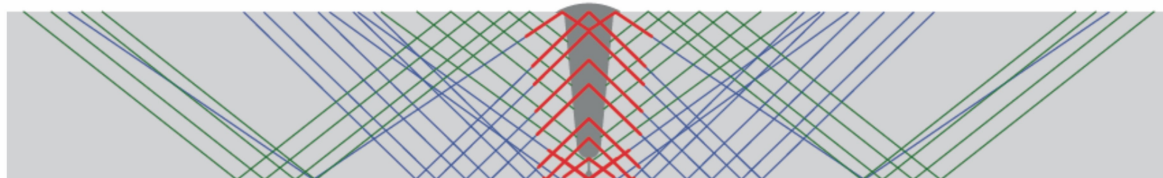


图 3 分区法波束设置示意

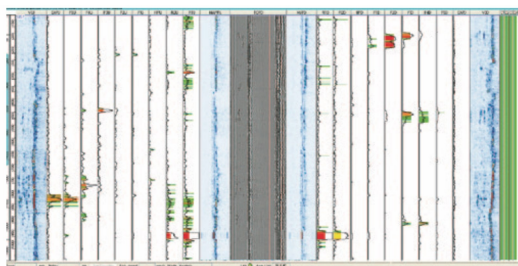


图 4 焊缝检测结果的带状图显示

4 试验方法

4.1 AUT 检测系统

使用 PipeWIZARD-V4 检测系统,配置一组相控阵探头,一组 TOFD 探头,探头对称放置于焊缝两侧,扫查装置安装在固定式导轨上,通过 PipeWIZARD 系统软件控制扫查器行走,实现焊缝的机械化扫查、数据实时显示及评判。

4.2 检测对象

检测对象为 X65 碳钢管,外径为 168 mm,壁厚

激励脉冲,从而可创建不同的声束角度及聚焦距离。一个分区的波束检测如图 2 所示,相控阵技术使用一组探头就可覆盖检测焊缝区域。



图 2 一个分区的波束检测示意

3.2 分区法 AUT 原理

分区法检测技术依据焊缝的坡口形式设置焊缝根部、热焊、填充及盖面等分区,每个分区高度为 1~3 mm,同时采用超声衍射时差法(TOFD)及体积检测通道,以提升不同类型缺陷的 AUT 检测能力及定量精度。每个分区设置独立的检测波束,其以焊缝中心线对称布置(波束设置见图 3),并有效覆盖焊缝中心,实现焊缝检测区域的有效检测,检测结果以带状图的方式显示(见图 4)。

为 18.6 mm。采用自动熔化极气体保护焊(GMAW)焊接工艺,通过调整焊接工艺参数制作了 46 个焊接缺陷,缺陷高度为 0.5~2 mm,长度为 5~15 mm,高度覆盖验收标准的最小值,长度接近验收标准的极限值,验证 AUT 对最小缺陷的检测能力。焊缝缺陷的类型包括坡口未熔合、根部未熔合、内部密集气孔及层间未熔合等体积型缺陷。

4.3 缺陷高度定量方法及修正

每个通道设置独立的反射体进行灵敏度校准,焊缝表面设置规格(长×宽)为 1 mm×1 mm 的槽,根部设置规格(长×宽)为 1 mm×1 mm 的槽,填充及热焊区设置直径为 2 mm 的平底孔,焊缝中心设置直径为 1.5 mm 的平底孔^[1],所有反射体与坡口平行。每个通道的基准波幅设置为满屏高度的 80%,填充区相邻通道覆盖 15%~50%的满屏高度,典型 AUT 校准试块反射体布置如图 5 所示。

缺陷的高度采用波幅法评定^[2],缺陷高度与波幅成正比,设定波幅为 80%满屏高度对应的尺寸为

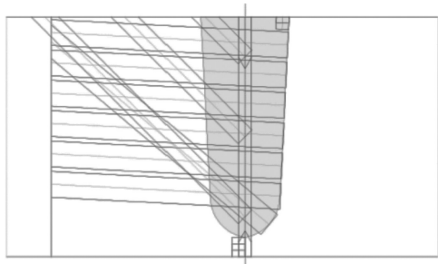


图 5 典型 AUT 校准试块反射体布置示意

该通道反射体尺寸,波幅超过满屏高度时,分区高度即是缺陷高度(波幅法定量数据如表 2 所示)。若 TOFD 通道有清晰显示,且能区分上下尖端信号,则采用 TOFD 方法测定缺陷的高度。

表 2 波幅法定量数据 mm

波幅/%	根部通道	热焊通道	填充通道	表面通道
100	1.25	1.88	2.50	1.25
95	1.19	1.78	2.38	1.19
90	1.13	1.69	2.25	1.13
85	1.06	1.59	2.13	1.06
80	1.00	1.50	2.00	1.00
75	0.94	1.41	1.88	0.94
70	0.88	1.31	1.75	0.88
65	0.81	1.22	1.63	0.81
60	0.75	1.13	1.50	0.75
55	0.69	1.03	1.38	0.69
50	0.63	0.94	1.25	0.63
45	0.56	0.84	1.13	0.56
40	0.50	0.75	1.00	0.50
35	0.44	0.66	0.88	0.44
30	0.38	0.56	0.75	0.38
25	0.31	0.47	0.63	0.31
20	0.25	0.38	0.50	0.25
15	0.19	0.28	0.38	0.19
10	0.13	0.19	0.25	0.13
5	0.06	0.09	0.13	0.06
0	0.00	0.00	0.00	0.00

AUT 缺陷显示分为单通道显示和多通道显示,缺陷 D6 的单通道 AUT 显示如图 6 所示,缺陷 D7 的多通道 AUT 显示如图 7 所示,对两个缺陷的 AUT 数据进行常规高度评定及波幅高度修正评定,通过金相检验测量缺陷的实际尺寸(见图 8, 9),将 AUT 结果与金相检验测量缺陷的实际尺寸进行对比,验证 AUT 数据修正后的评定精度。AUT 修正前后数据与金相检验测量数据的对比

如表 3 所示,由表 3 可知,修正后的 AUT 评定值更精确。

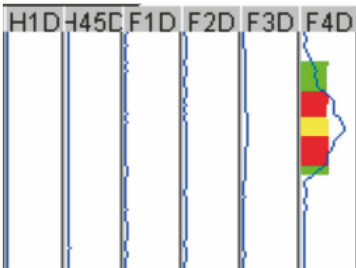


图 6 缺陷 D6 的单通道 AUT 显示

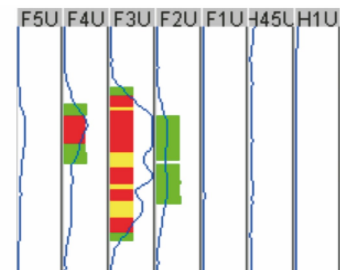


图 7 缺陷 D7 的多通道 AUT 显示

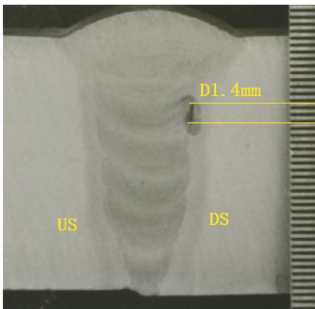


图 8 缺陷 D6 的金相检验显示

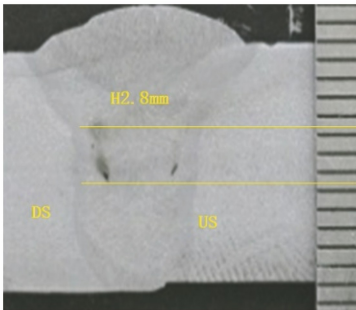


图 9 缺陷 D7 的金相检验显示

4.4 数据分析

对制作的焊缝缺陷进行 AUT 检测,一一记录 46 个缺陷的最高显示波幅及显示通道,通过采用波幅法及修正方法进行缺陷高度的尺寸评定,对所有评定的缺陷进行金相检验,测定缺陷的实际尺寸。通过将 AUT 结果与金相检验结果进行对比,验证了修正后的 AUT 评定方法的准确性,焊缝的 AUT 结果与金相检验结果如表 4 所示。

表3 AUT修正前后数据与金相检验测量数据对比

缺陷编号	显示通道	波幅/%	AUT 高度/mm		金相检验高度/ mm	偏差(AUT-金相检验)/mm	
			未修正	修正后		未修正	修正后
D6	F4D	81	2.5	1.6	1.4	1.1	0.2
D7	F2U,F3U,F4U	25,100,54	7.5	3.1	2.8	4.7	0.3

表4 焊缝的 AUT 结果与金相检验结果

mm

焊口编号	壁厚	缺陷编号	位置	类型	AUT 评定修正		金相检验		AUT-金相检验偏差	
					高度	深度	高度	深度	高度	深度
W01	18.3	1	根部	未焊透	0.16	18.60	0.5	18.6	-0.34	0.0
W01	18.3	2	根部	未焊透	1.50	18.60	1.3	18.6	0.20	0.0
W01	18.3	3	根部	未焊透	0.80	18.60	1.4	18.6	-0.60	0.0
W01	18.3	4	根部	未焊透	0.63	18.60	0.7	18.6	-0.07	0.0
W01	18.3	5	根部	未焊透	1.30	18.60	1.1	18.6	0.20	0.0
W01	18.3	6	根部	未焊透	0.63	18.60	1.1	18.6	-0.47	0.0
W01	18.3	7	根部	未焊透	1.40	18.60	1.0	18.6	0.40	0.0
W05	18.3	2	根部	未焊透	0.31	18.60	0.6	18.6	-0.29	0.0
W05	18.3	4	根部	未焊透	0.80	18.60	0.9	18.6	-0.10	0.0
W05	18.3	6	根部	未焊透	1.10	18.60	1.0	18.6	0.10	0.0
W04	18.3	1	热焊	未熔合	1.90	16.40	2.5	16.7	-0.60	-0.3
W04	18.3	2	热焊	未熔合	2.40	16.90	1.8	15.9	0.60	1.0
W04	18.3	3	热焊	未熔合	1.00	16.30	1.0	15.8	0.00	0.5
W04	18.3	4	热焊	未熔合	1.60	15.70	0.8	15.4	0.80	0.3
W04	18.3	5	热焊	未熔合	1.00	14.90	0.5	14.9	0.50	0.0
W04	18.3	6	热焊	未熔合	1.00	13.90	0.5	14.7	0.50	-0.8
W08	18.3	1	热焊	未熔合	1.10	17.00	1.9	17.5	-0.80	-0.5
W08	18.3	2	热焊	未熔合	1.00	15.00	0.5	14.8	0.50	0.2
W08	18.3	3	热焊	未熔合	1.00	15.60	0.9	15.7	0.10	-0.1
W08	18.3	4	热焊	未熔合	1.00	15.60	0.7	15.5	0.30	0.1
W08	18.3	5	热焊	未熔合	1.00	16.20	1.2	16.4	-0.20	-0.2
W08	18.3	6	热焊	未熔合	1.00	16.30	1.7	16.0	-0.70	0.3
W03	18.3	1	填充	未熔合	1.00	4.80	0.6	5.0	0.40	-0.2
W03	18.3	2	填充	未熔合	1.00	6.00	0.6	6.6	0.40	-0.6
W03	18.3	3	填充	未熔合	1.00	6.30	1.1	7.0	-0.10	-0.7
W03	18.3	4	填充	未熔合	1.00	9.40	0.5	10.0	0.50	-0.6
W03	18.3	5	填充	未熔合	1.63	6.87	1.4	6.0	0.23	0.87
W03	18.3	6	填充	未熔合	1.50	14.10	1.5	13.6	0.00	0.5
W07	18.3	1	填充	未熔合	1.00	4.90	0.8	4.8	0.20	0.1
W07	18.3	2	填充	未熔合	1.00	5.90	1.0	6.6	0.00	-0.7
W07	18.3	3	填充	未熔合	1.00	6.60	1.0	7.5	0.00	-0.9
W07	18.3	4	填充	未熔合	1.30	10.00	1.8	10.0	-0.50	0.0
W07	18.3	5	填充	未熔合	1.00	9.70	1.6	11.0	-0.60	-1.3
W07	18.3	6	填充	未熔合	1.20	13.80	1.4	14.0	-0.20	-0.2
W02	18.3	1	盖面	未熔合	1.22	2.20	1.5	1.5	-0.28	0.7
W02	18.3	2	盖面	未熔合	0.20	0.50	0.2	1.0	0.00	-0.5
W02	18.3	3	盖面	未熔合	1.10	2.20	1.4	1.4	-0.30	0.8
W02	18.3	4	盖面	未熔合	1.44	2.20	1.3	1.3	0.14	0.9
W02	18.3	5	盖面	未熔合	0.97	2.20	0.8	1.5	0.17	0.7
W02	18.3	6	盖面	未熔合	0.94	2.20	1.4	1.4	-0.46	0.8
W06	18.3	1	盖面	未熔合	1.00	2.20	0.6	1.8	0.40	0.4
W06	18.3	2	盖面	未熔合	1.60	2.20	2.0	2.0	-0.40	0.2
W06	18.3	3	盖面	未熔合	2.13	2.20	1.4	1.4	0.73	0.8
W06	18.3	4	盖面	未熔合	1.22	2.20	0.8	0.8	0.42	1.4
W06	18.3	5	盖面	未熔合	1.47	2.20	1.1	1.1	0.37	1.1
W06	18.3	6	盖面	未熔合	2.38	2.20	1.9	1.9	0.48	0.3

《无损检测》征稿简则

《无损检测》是中国机械工程学会和上海材料研究所主办的技术类刊物,是全国无损检测学会会刊及对外交流指定用刊、全国中文核心期刊(一、四)、中国科技核心期刊、中国科技论文统计源期刊并已加入《中国学术期刊(光盘版)》和中国期刊网。近年来多次被评为中国科协、国家机械行业及上海市优秀科技期刊。主要报道超声、射线、电磁涡流、磁粉、渗透、声发射、激光、红外、微波和应力测定等无损检测技术。读者对象是厂矿、科研单位、大专院校中从事无损检测的专业人员和质量管理人员。

征稿内容

对促进无损检测技术发展有指导作用的基础理论及结合生产关键的科研成果;对某一方面的理论和技术综合分析的专论或评述,对国内外正在讨论的学术见解的介绍或评述;有推广价值的生产实践经验和革新项目;基础知识讲座和专题讲座;人员培训和资格认证方面的论述和经验;标准、规范及其应用;学术争鸣;国内外学术动态、信息(包括仪器设备研制、人员培训和资格认证、会议报道及人才交流等)以及国外文献资料的译文、文摘和索引。

来稿须知

1. 来稿应结构严谨、重点突出、层次分明、数据可靠、论证充分、图表清晰。要求论文一般不超过 6 000 字,经验介绍不超过 4 000 字。
2. 题目要切题醒目(不超过 20 个字),作者署名以主要参加者为限,其他参加者可列于文后说明。
3. 来稿附英文题目和作者单位名称(保密单位

署公开名称,不用代号)及作者姓名的汉语拼音。

4. 论著应有 200 字左右的中文摘要(要素:目的、方法、结果、结论),并附相应的英文摘要。在中、英文摘要后书写中、英文关键词(3~8 条)。

5. 译著须注明出处,并附译著的原文及作者同意您将译文发表于我刊的信函。

6. 稿中外文字母和数学公式用印刷体书写清楚,应正确区分和标注语种、大小写、正斜体、上下角及黑体等,对容易混淆的字母等用铅笔注明。首次出现外语缩写字母处应注明其含义。

7. 计量单位符号应严格按国务院颁布的法定计量单位统一规定书写。

8. 图表要少而精,纵横坐标的物理量名称、符号及计量单位符号应标注清楚,照片必须层次清晰,并在文稿的相应部位留出示意性的空位。文中表格请制成三线表。

9. 参考文献按文中出现次序排列,文献序号在正文中以右上角方括号中数字表示,内部资料和未公开发表的文章请勿引用。

10. 来稿请写明作者姓名、工作单位、电话号码、通讯地址及邮政编码。

本刊已经开通网上投稿系统,欲投稿者请登陆“材料与测试网”(www. mat-test. com),进行注册后投稿。如有疑问,请致电《无损检测》编辑部,电话:021-65556775-225;E-mail:ndt@mat-test. com。

《无损检测》编辑部
刘晶晶

由表 4 可知,对于焊缝盖面、填充区、热焊及根部不同位置的缺陷,其修正后的 AUT 评定结果与金相检验评定高度最大偏差为 0.8 mm,深度最大偏差为 1.4 mm。

5 结语

对 AUT 评定的 46 个不同位置缺陷进行金相检验,修正后的 AUT 缺陷高度与金相检验评定结果具有一致性,缺陷定量精度最大偏差小于 1 mm,

修正后的 AUT 工艺可应用于基于 ECA 验收标准的 SCR 管线的焊缝检测。

参考文献:

- [1] 陈亮,张立艳. AUT 校准试块的制作和质量控制[J]. 无损检测,2017,39(2):64-66.
- [2] 陈亮,孙晓明,尤卫宏,等. 海底管线 AUT 分区法缺陷高度定量测量修正方法[J]. 无损检测,2014,36(7):81-84.