

Φ 50 mm 海底管道焊缝的相控阵超声检测

陈亮, 张卫东

(海洋石油工程股份有限公司, 天津 300452)

摘要: 海底管道小管径焊缝主要采用射线方法进行检测, 而射线检测存在辐射危害, 检测效率较低, 逐渐成为制约海管铺设效率提升的关键因素。结合直径 50 mm 海底管道焊缝检测特点及标准要求, 设计了相应的相控阵超声检测方案, 完成了缺陷高度定量精度及检出率分析, 实现了直径 50 mm 海底管道焊缝的相控阵超声检测。试验结果表明, 该技术可替代传统射线检测, 有效提高海管铺设检验效率。

关键词: 相控阵超声; 检出率; 检测精度; 小径管

中图分类号: TG115.28 文献标志码: A 文章编号: 1000-6656(2022)12-0018-03

Phased array ultrasonic inspection of Φ 50 mm submarine pipeline

CHEN Liang, ZHANG Weidong

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

Abstract: The welding seam testing of submarine pipelines mainly adopts ray detection, and ray detection has radiation hazards and is of low detection efficiency, which has gradually become a key factor restricting the improvement of sea pipe laying efficiency. Combined with the detection characteristics and standard requirements of seams with a diameter of 50 mm, the corresponding scheme is designed, the defect height quantitative accuracy and detection rate analysis are completed, and the phased array ultrasonic detection of seams with a diameter of 50 mm seabed pipelines is realised. The results show that phased array ultrasonic detection can replace traditional ray detection and effectively improve the laying inspection.

Key words: phased array ultrasonic; probability of detection; sizing accuracy; small diameter pipe

海底管道是海洋油气输送的重要通道, 提升管道铺设焊缝质量是保证其安全运行的关键。对于直径 50 mm 的小管径管道焊缝, 主要采用射线方法对其进行检测, 而射线检测存在辐射危害, 且检测效率较低等缺点。近年来, 铺管船施工安全、环保等方面的要求越来越高, 海上射线作业愈发不能适应目前铺管作业的需求。随着相控阵超声(PAUT)检测技术的快速发展和各类机械化扫查装置的研发与应用, 相控阵超声检测替代传统射线检测, 逐渐受到各大海管施工单位的青睐, 提高了海管铺设检验效率^[1]。由于海底管道铺设施工流程的特殊性, 标准

DNV-ST-F101—2017《海底管线系统》要求, 施工前需进行检测工艺缺陷定量精度及检出率的试验分析, 确保管道铺设过程中检测工艺的实施可靠性, 为工程质量提供保障。

1 相控阵超声检测基本原理

相控阵检测系统利用了波动物理学的相位调整原理, 即通过改变一系列超声脉冲的发射时间, 使阵列中的每个晶片生成的单个波前交汇在一起, 以可以预见的方式加强或减弱声波的能量, 从而使声波有效偏转并合成波束, 合成波束的生成如图 1 所示。

2 PAUT 扇形扫查技术及工艺

2.1 检测装备

采用奥林巴斯 OMNISCAN MX2 检测系统, 使用频率为 7.5 MHz, 16 晶片的相控阵探头进行扫

收稿日期: 2022-10-26

作者简介: 陈亮(1983—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事海洋石油工程的无损检测工作

通信作者: 陈亮, chenliang@mail.cooec.com.cn

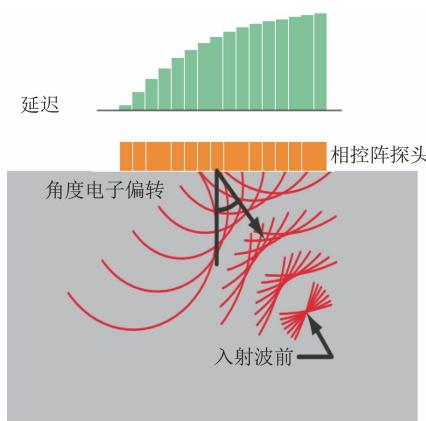


图 1 合成波束的生成示意

查。扫查器采用奥林巴斯 COBRA 型小径管扫查器(见图 2)。



图 2 相控阵系统及扫查器实物

2.2 PAUT 扇形扫描技术

PAUT 超声扇形扫描技术是将一对相控阵探头对称布置于焊缝两侧,每个探头可同时激发两组波束,一组角度范围为 $40^\circ \sim 60^\circ$,另一组角度范围为 $40^\circ \sim 70^\circ$,以实现对焊缝检测区域的扫描,典型探头波束配置如图 3 所示,典型扇形扫描显示如图 4 所示,该方法可实现对缺陷高度、深度、长度等尺寸的测定。

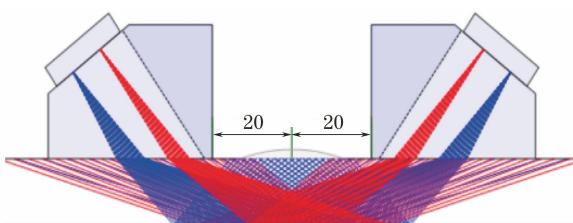


图 3 典型探头波束配置示意

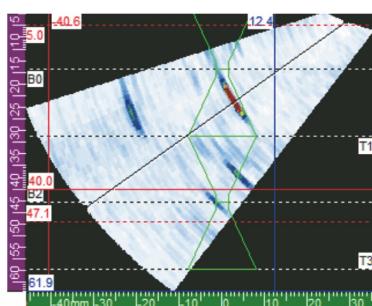


图 4 典型扇形扫描显示

2.3 校准试块

校准试块包括灵敏度校准试块和工艺验证试块,使用与工程项目所用管材相同的材料制作。校准试块设置反射体为直径 2 mm 的横通孔,横通孔等距分布于焊缝厚度方向(校准试块结构见图 5)。工艺验证试块设置反射体为面状反射体,反射体分别设置于焊缝内外表面和内部两侧坡口面上,面状反射体类型、尺寸为验收标准允许的最小尺寸。



图 5 校准试块结构示意

3 检测能力评估

3.1 缺陷制作

制作一系列包含不同类型、不同尺寸缺陷的焊缝,焊接工艺为 GTAW(钨极惰性气体保护焊),管材直径为 50 mm,壁厚为 6.4 mm,材料为 API 5L X65;坡口形式为 V 型,坡口角度为 30° ;缺陷类型包括侧壁未熔合、气孔、夹渣等,分布于焊缝不同深度位置,未熔合缺陷高度为 $0.5 \sim 2.5$ mm,长度为 $10 \sim 15$ mm。缺陷数量及具体分布如下:根部未熔合 31 处;填充处未熔合 32 处;表面未熔合 31 处;气孔 2 处;夹渣 2 处;共计 98 处。

3.2 缺陷数据采集

依次扫描缺陷焊缝,采用端部 6 dB 方法测定缺陷的高度,缺陷下端点确定为缺陷深度,分别评定记录 PAUT 检测缺陷的高度、深度尺寸。对于选定的缺陷进行宏观切片(典型宏观切片图像见图 6),记录缺陷的实际高度及深度,对比 PAUT 检测结果与实际尺寸的偏差,选定焊缝缺陷的检测数据与切片尺寸对比如表 1 所示。

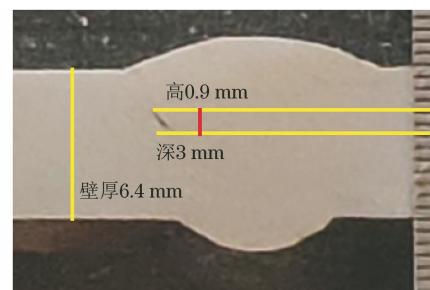


图 6 典型缺陷宏观切片图像

由表 1 可知,表面区域未熔合缺陷高度 PAUT 评定结果与切片尺寸最大偏差为 0.4 mm,深度最大偏差为 1.7 mm;填充区域未熔合缺陷高度

表 1 选定焊缝缺陷的检测数据与切片尺寸对比

焊缝 编号	管径	壁厚	PAUT				切片尺寸		PAUT 与切片尺寸偏差		mm
			高度	深度	缺陷类型	位置	高度	深度	高度	深度	
W01	50	6.4	0.5	0.5	未熔合	表面	0.5	1.0	0	-0.5	
W01	50	6.4	0.6	1.7	未熔合	表面	0.7	1.6	-0.1	0.1	
W01	50	6.4	0.6	0.9	未熔合	表面	0.7	1.7	-0.1	-0.8	
W02	50	6.4	0.6	4.1	未熔合	填充	1.1	4.1	-0.5	0	
W04	50	6.4	0.4	2.2	未熔合	表面	0.8	2.5	-0.4	-0.3	
W04	50	6.0	1.4	2.6	未熔合	填充	1.9	3.3	-0.5	-0.7	
W04	50	6.0	1.5	2.0	未熔合	填充	1.4	3.2	0.1	-1.2	
W05	50	6.4	0.9	0.9	未熔合	表面	0.9	0.9	0	0	
W05	50	6.4	0.8	0.8	未熔合	表面	0.8	1.1	0	-0.3	
W06	50	6.4	1.2	1.5	未熔合	表面	1.1	2.2	0.1	-0.7	
W06	50	6.4	0.6	3.4	未熔合	填充	1.0	3.0	-0.4	0.4	
W06	50	6.4	0.6	3.8	未熔合	填充	0.8	3.1	-0.2	0.7	
W07	50	6.4	0.6	3.7	未熔合	填充	1.4	3.7	-0.8	0	
W08	50	6.4	1.3	4.3	未熔合	填充	1.0	4.9	0.3	-0.6	
W08	50	6.4	0.9	4.0	未熔合	填充	1.0	3.2	-0.1	0.8	
W08	50	6.4	0.9	4.0	未熔合	填充	1.3	3.1	-0.4	0.9	
W09	50	6.4	0.7	0.7	未熔合	表面	0.6	2.4	0.1	-1.7	
W14	50	6.4	0.7	3.2	未熔合	填充	1.4	3.0	-0.7	0.2	
W35	50	6.4	1.1	6.4	未熔合	根部	1.5	6.4	-0.4	0	
W35	50	6.4	0.7	6.4	未熔合	根部	0.5	6.4	0.2	0	
W35	50	6.4	1.3	6.4	未熔合	根部	2.0	6.4	-0.7	0	
W36	50	6.4	1.1	6.4	未熔合	根部	0.8	6.4	0.3	0	
W37	50	6.4	1.5	6.4	未熔合	根部	1.5	6.4	0	0	
W38	50	6.4	1.9	6.4	未熔合	根部	1.0	6.4	0.9	0	
42	50	6.4	0.9	6.4	未熔合	根部	1.4	6.4	-0.5	0	
W42	50	6.4	0.8	6.4	未熔合	根部	1.0	6.4	-0.2	0	
W42	50	6.4	1.4	6.4	未熔合	根部	1.5	6.4	-0.1	0	

PAUT 评定结果与切片尺寸最大偏差为 0.8 mm, 深度最大偏差为 1.2 mm; 根部区域未熔合缺陷高度 PAUT 评定结果与切片尺寸最大偏差为 0.9 mm, 深度最大偏差为 0。

3.3 缺陷高度定量精度分析

直径 50 mm 管线焊缝检测通常采用经验验收标准进行缺陷验收, 标准还要求进行缺陷高度定量精度分析。缺陷高度定量精度分析是通过对比 PAUT 检测数据与缺陷宏观切片数据进行的, 即评估在 5% 机率漏检的情况下, 能可靠检出的最小缺陷尺寸(高度)。通过对 94 个(另外 4 个体积型缺陷只用于检出验证)缺陷 PAUT 检测结果与切片测定结果的对比分析, 5% 机率漏检对应的缺陷最小高度为 0.9 mm(PAUT 检测缺陷分布见图 7), 满足标准要求(± 1 mm)。

3.4 检出率分析

检出率(POD)分析是一种主流且可靠的评估

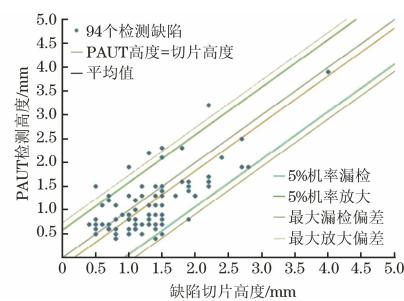


图 7 PAUT 检测缺陷分布

缺陷检出概率的方法, 获得特定评定阈值, 检出概率, 检测可靠性条件下的最小缺陷尺寸。通过对采集的数据进行分析, 使用 DNV-ST-F101—2017 标准中的分析方法及最大似然法统计学模型, 分析得到的 30% 评定阈值条件下的 POD 曲线如图 8。

由图 8 可知, 进行 PAUT 检测缺陷评定, 当波幅阈值设置为 30% 满屏高度时, 95% 置信水平 90%

(下转第 36 页)

需要注意的是,该结构同样会受到拉挤板材拼接缝衍射现象的影响,无法显示出拼接缝影响区域的腹板底波(拼接缝区域无回波信号),腹板与主梁黏接的拼接缝区域同样存在检测盲区问题[腹板与拉挤板材主梁黏接拼接缝区域信号丢失图像见图14(b)],故还需要开发其他检测方法对其实施有效检测。

5 结语

对风电叶片行业中拉挤板成型主梁的超声检测

(上接第20页)

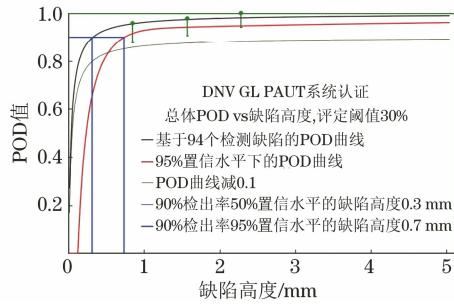


图8 30%评估阈值条件下的POD评估曲线

检出率条件下,可靠检出的缺陷高度为0.7 mm,满足标准要求,该PAUT检测工艺可使用DNV标准中经验验收标准进行缺陷质量验收。

4 结语

试验结果表明,PAUT可有效检测出不同位置

进行了研究,对比了常规超声检测和相控阵超声检测结果,总结了一套适合现场应用的超声检测方法。该方法可为风电叶片产品的可靠性提供支撑,为拉挤板成型主梁的推广应用提供一定保障。

本文获“2022 Evident 杯超声检测技术优秀论文评选”活动优胜奖。

焊接缺陷,当评定阈值为30%时,95%置信水平,90%检出率条件下,可检出的缺陷最小尺寸为0.7 mm,5%机率漏检的最小缺陷尺寸为0.9 mm,满足标准要求。

经评定后的PAUT检测工艺可应用于海底管道铺设过程的无损检测,使用DNV标准经验验收标准进行焊缝质量验收,可替代传统的射线检测,大幅提升现场检测效率,规避潜在辐射危害,同时,可为海底管道的PAUT工艺认证提供一些经验与借鉴。

本文获“2022 Evident 杯超声检测技术优秀论文评选”活动三等奖。

参考文献:

- [1] 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.

欢迎网上投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告