

超声相控阵技术在钻杆内壁腐蚀检测中的应用

陈智发, 曹燕亮

(汕头市超声仪器研究所有限公司, 汕头 515041)

摘要:有效评估钻杆内壁腐蚀情况,对提高钻井生产安全,降低钻井成本至关重要。介绍了超声相控阵技术在钻杆内壁腐蚀检测中的应用,通过对对比试块与实际工件的试验,证明了该方法对钻杆内壁腐蚀检测具有足够的检测灵敏度、分辨力及较好的检测效果。

关键词:钻杆; 腐蚀; 超声检测; 相控阵

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2014)08-0060-04

Corrosion Inspection in Drill Pipe by Phased-array Ultrasonic Technique

CHEN Zhi-fa, CAO Yan-liang

(Shantou Institute of Ultrasonic Instruments Co., Ltd., Shantou 515041, China)

Abstract: The effective evaluation of drill pipe internal corrosion plays an important role in improving drilling safety and minimizing drilling costs. This paper describes one of the methods for drill pipe internal corrosion inspection by phased-array ultrasonic technique. Meanwhile, through the contrast test block and the actual work the method has been proven having sufficient sensitivity and resolution for the inner wall corrosion testing of drill pipe, and it can achieve better results.

Keywords: Drill pipe; Corrosion; Ultrasonic testing; Phrased array

钻杆是钻井平台的重要组成部分,它在钻井服役中受拉力和压力作用,并承受弯曲扭转载荷,钻头对岩石的冲击会引起钻杆的强烈振动^[1];同时,钻杆还受到钻井液等液体的腐蚀,容易在内壁产生腐蚀坑,从而降低极限承载能力。钻杆在使用前,若对腐蚀情况无法掌握,则有可能在使用过程中由于应力集中的原因,造成刺穿、断裂等事故,给钻井生产带来巨大的经济损失。据统计,石油钻井在井下的失效事故中,腐蚀疲劳引起的钻杆断裂占了很大比例^[2]。因此,有效地评估钻杆腐蚀情况,减小事故发生并合理利用有缺陷的钻杆,对提高钻井的生产安全、降低钻井成本至关重要。根据钻杆腐蚀主要为体积型并分布于钻杆内表面的特点,确定利用超声相控阵进行腐蚀检测。

1 超声相控阵检测原理

超声相控阵技术是基于惠更斯原理的一种超声成像方法,其通过相位控制技术,控制阵列晶片实现有序工作来实现超声波的偏转和聚焦^[3]。超声相控阵使用的换能器有多个相互独立的压电晶片阵列,每个晶片称为一个阵元。其按一定规则和时序控制接收阵元进行信号合成,再将合成结果以适当形式显示,由此实现了超声波声束的动态聚焦^[4];即,利用具有一定相位差的激励脉冲激发各阵元,阵元所发出的声波在空间干涉后就形成一特定的指向性或聚焦特性。

相控阵检测扫描方式有电子线扫和扇扫两种。笔者采用电子线扫。电子线扫是以固定相位的激励脉冲加载到固定个数的不同阵元上,实现沿探头长度方向进行扫查的一种方式,如图1(a)所示。采用电子线扫查技术,可以依次实现1~3、

收稿日期: 2014-05-27

作者简介: 陈智发(1982—),男,学士,助理工程师,主要从事工业超声检测仪器开发工作。

2~4、3~5、4~6、5~7 各个阵元的发射和接收,一次循环完成便可得到一帧具有 5 条扫描线的相控阵图像,即 B 型图像。B 型图像显示的是与声束传播方向平行的物体断面的图像,在断面图上可

获得缺陷的深度位置、水平位置以及用灰度(或颜色)表示的缺陷波高。通过对连读多帧的 B 型图像的处理,可以得到缺陷的俯视图即 C 型图像,如图 1(b)所示。

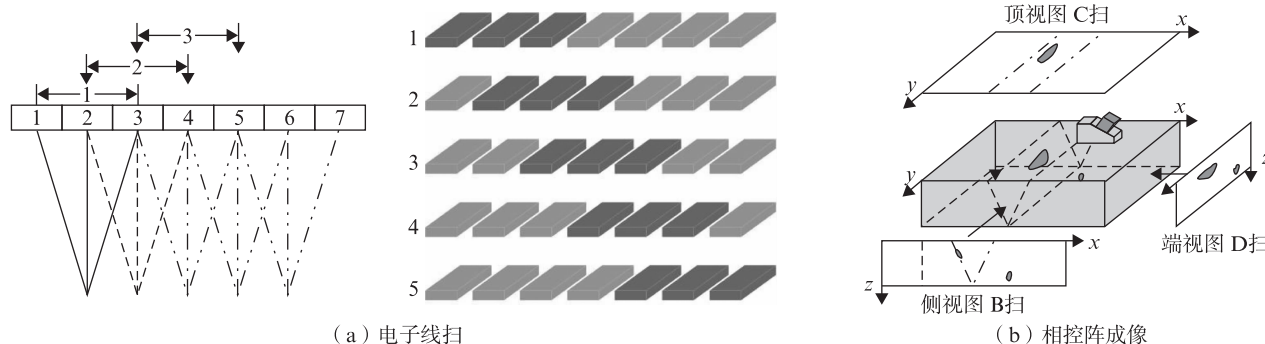
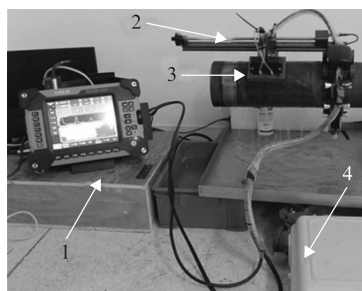


图 1 相控阵电子线扫和成像示意图

2 试验设备

使用汕头市超声仪器研究所生产的 SUPOR-32P 超声成像检测仪和配有弧形楔块的 128 阵元相控阵探头,结合专用的腐蚀检测软件包、链式管道二维扫查架和自动耦合装置,对钻杆的内壁进行了腐蚀检测。自动耦合装置主体为加压水泵,耦合剂采用水;其通过水泵加压,在探头楔块与工件间形成一层水膜,实现良好耦合。超声扫描采用电子线扫,成像采用 A、B 和深度 C 型相结合。整套系统的组成如图 2 所示。



1—超声相控阵仪器;2—链式管道二维扫查架;
3—带弧形楔块 128 阵元相控阵探头;4—自动耦合装置

图 2 相控阵腐蚀检测系统组成

超声相控阵仪器运行腐蚀检测软件,完成超声相控阵发射和接收,显示和全程记录检测过程的所有数据。检测采用 0 度线扫方式,阵元孔径为 32,聚焦点位置设置在工件厚度的 3/4 处。显示方面,主要采用 C 扫描显示,辅助 A 型和 B 型显示方式。腐蚀检测软件界面采用向导方式的设计,可完成检测方案的设计和规划,如检测区域划分、检测数量设置、缺陷显示方式、聚焦法则设置和探头自动校准等工作。

带弧形楔块的 128 阵元相控阵探头是整个检测装置的重要组成部分。探头频率为 7.5 MHz,晶片宽度为 0.5 mm,阵元个数为 128 个,排列方式为一维线阵。楔块弧度与管道弧度相同,以保证检测过程中的充分接触。128 阵元探头除了能够提高检测精度外,还能够尽可能地覆盖检测区域,提高检测效率。

链式管道二维扫查架是专为管道检测设计的具有双轴编码器的扫查架,编码器精度可达到 0.01 mm,链式设计可使扫查架能够适应不同管径的钻杆检测需求。检测时,探头固定在 y 轴方向,由扫查架带动探头完成检测。

自动耦合装置可在检测过程中以自动方式提供水耦合剂,保证检测过程楔块与工件的耦合。

工作时启动相控阵仪器的腐蚀检测软件并完成各类设置,超声相控阵探头在扫查架的带动下绕钻杆周向旋转一周,完成后在扫查架带动下沿钻杆轴向移动并进行第二次周向检测。如此反复,最终完成所有检测区域的检测,扫描过程中所有的数据被全部记录在仪器中,便于后续分析和存档。

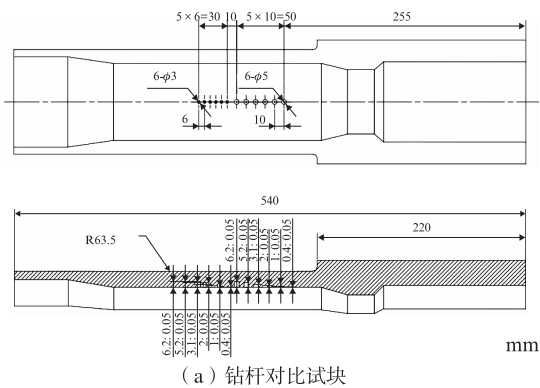
3 检测试块与结果

3.1 试块准备

为了验证整套系统的有效性,笔者使用了三种不同的试块进行测试。试块 1 为长度约 500 mm 的钻杆接头,结构如图 3(a)所示。在管道内部加厚过渡带制作了两种孔径共 12 个不同深度的平底孔,用于验证系统的灵敏度和分辨力,缺陷从右至左编为 1~12 号。其中 6 个直径 5 mm 孔,6 个直径 3 mm 孔。孔深分别是 0.4,1,2,3.1,5.2,6.2 mm。其中 5 mm 孔中心间距为 10 mm,3 mm 孔中心间距为 6 mm。

试块 2 为长度约 250 mm 的钻杆接头加厚过渡带管体,如图 3(b)所示。其内部有自然腐蚀缺陷,用于验证系统对于自然缺陷的识别能力。

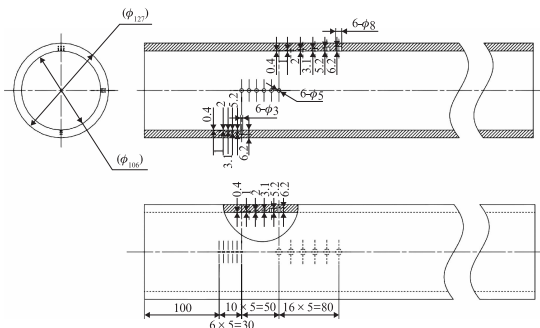
试块 3 是一段长度约 1 m 的实物管体,尺寸如图 3(c)所示。在管体内部加工了三种不同孔径、不同深度的共 18 个平底孔,用于对整套系统的实用性进行测试和验证。其包括 6 个直径 3 mm 孔,6 个直径 5 mm 孔,6 个直径 8 mm 孔。孔深分别是 0.4, 1, 2, 3, 1.4, 2, 5, 2 mm。



(a) 钻杆对比试块



(b) 管体自然缺陷试块



(c) 实物管体试块

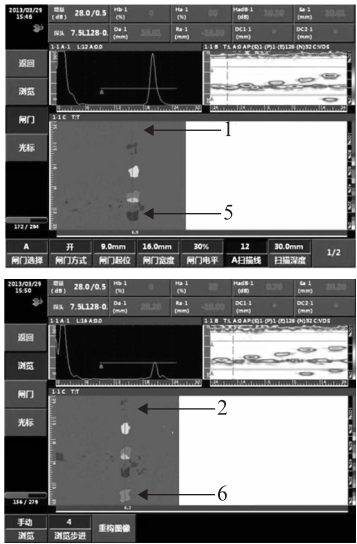
图 3 三种试块的结构示意

3.2 检测结果

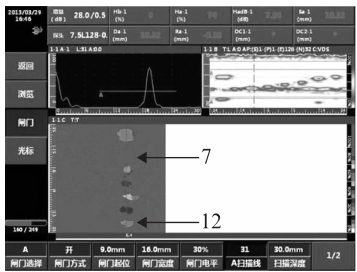
3.2.1 试块 1 检测结果

检测中以手动方式将探头与试块进行耦合,采用时基方法,探头沿管道外壁周向进行扫描。根据图 3(a)可知,缺陷距管道内表面为 0.4~6.2 mm。管体为 19.5~19.85 mm。C 扫描图像显示时,以不同的颜色表示不同深度的人工孔,将厚度 10~20 mm,以 0.5 mm 为步进设置为 20 种颜色。当工件厚度大于 19.5 mm 时全部以红色(文中显示为白色以外的深灰色)表示,小于 10 mm 时全部以白色表示。

图 4 为两种不同孔径缺陷的检测图。表 1 为人工加工尺寸与超声相控阵仪器测量值的对比,其中 1~6 号缺陷的直径为 5 mm,7~12 号缺陷的直径为 3 mm。



(a) 1~6号缺陷成像



(b) 7~12号缺陷成像

图 4 1~12 号缺陷成像图

表 1 试块 1 检测结果

编号	缺陷加工深度(实测值)/mm	仪器测量孔深/mm	误差%	编号	缺陷加工深度(实测值)/mm	仪器测量孔深/mm	误差%
1	0.42	0.47	11.9	7	0.45	0.50	11.1
2	1.07	1.17	9.4	8	1.02	0.87	13.7
3	2.43	2.21	9.0	9	2.46	2.21	10.2
4	3.36	2.99	11.0	10	3.26	3.44	5.5
5	5.5	5.91	7.5	11	5.35	5.85	9.3
6	6.48	6.76	4.3	12	6.24	6.76	8.3

从图 4 及表 1 可以看出:两种孔径、6 种不同深度的 12 个人工缺陷均能够检测出,仪器测量结果与实际加工深度基本一致,误差小于 14%,说明仪器设置和探头选择对人工缺陷有足够的检测灵敏度和分辨力。但由于采用了时基扫描的方法,人工孔的形状与实物形状有一定偏差,可通过在实际使用时,加装编码器扫描的方式来解决。

3.2.2 试块 2 检测结果

试块 2 仍以手工耦合,时基扫描的方式,探头沿管道外壁周向进行检测,C 扫描图的颜色设置与工件 1 的设置相同。由于试块 2 红色区域工件厚度为 12 mm 左右,自然腐蚀区域处工件最薄厚度为 9.5 mm 左右,因此检测效果图中自然腐蚀缺陷处主要颜色是灰色(10~11 mm),而腐蚀最深处的颜色为白色(小于10 mm)。图 5(b)为检测效果图,其中圆圈标记为腐蚀区域。从图 5 中可以看出,实际检测效果图与实物图较匹配,说明系统可以有效地识别自然腐蚀缺陷。

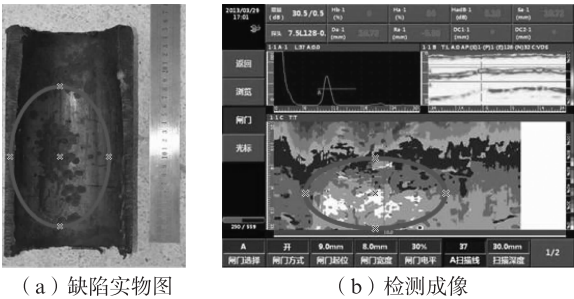


图 5 试块 2 的缺陷实物与检测成像图

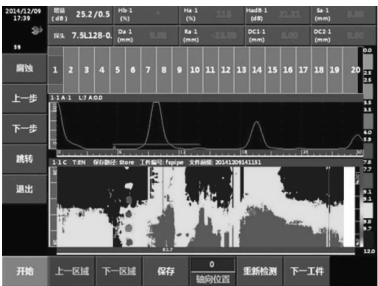
3.2.3 试块 3 检测结果

试块 3 为钻杆管体的一部分,管壁基本等厚,厚约 9.0~10.0 mm。为了便于观察,将 0.1~12.0 mm 以不等厚方式分为 8 个颜色分区,并设置了上下限颜色和异常数据颜色,如表 2 所示。试块 3 的成像效果如图 6 所示,图中不同灰度代表不同颜色。图 6 所示的是管体内部孔径为 5,8 mm 缺陷的检测结果,从结果可以看出:两种孔径、六种孔深的 12 个人工缺陷可以完全检出,同时管体实际上也存在一定程度的不等厚以及内部腐蚀。

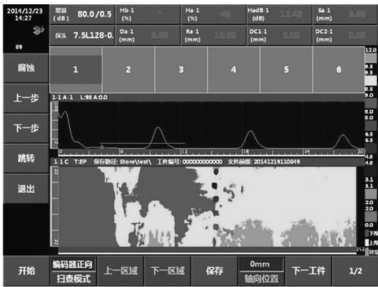
与试块 1、2 采用的手动耦合、时基检测的方式不同,试块 3 模拟实际检测要求,采用图 1 所示的整套设备进行检测。自动耦合装置提供水耦合剂,探头由链式管道二维扫查架带动行走,仪器全程记录检测结果。检测结果也验证了整套系统的

表 2 分区厚度与颜色的对应表

分区厚度/mm	对应颜色	分区厚度/mm	对应颜色
下限	红色	6.5~8.0	褐色
0.0~2.0	青色	8.0~9.0	绿色
2.0~3.1	橙色	9.0~9.5	黄色
3.1~4.8	蓝色	9.5~12.0	粉红色
4.8~6.5	紫色	上限	白色



(a) 直径 5 mm 缺陷



(b) 直径 8 mm 缺陷

图 6 试块 3 的缺陷检测成像图

有效性。

4 结语

通过对钻杆对比试块和实际钻杆的人工缺陷的超声相控阵检测试验,证明了超声相控阵技术对钻杆内壁腐蚀具有足够的检测灵敏度,分辨力及较好的检测效果,证明了超声相控阵技术整体检测方案的可行性和有效性。

参考文献:

[1] 巨西民. 石油钻杆内加厚区超声检测评价方法和装置[J]. 无损检测,1998,20(6):164-167.
[2] 莫润阳,王公正. 钻杆内壁腐蚀缺陷超声检测系统[J]. 无损探伤,2011(5):23-24.
[3] 冯若. 超声诊断设备原理与设计[M]. 北京:中国医药科技出版社,1993:357.
[4] 黄晶,阙沛文,金建华. 线形超声相控阵换能器的阵列设计[J]. 传感器技术,2004,23(1):9-11.