

采油树控制阀焊接层的超声检测

吴迪¹, 滕永平¹, 赵中龄¹, KC Ong²

(1. 北京交通大学理学院, 北京 100044; 2. INNOTEST Company, Singapore 658079)

摘要: 研制了检测采油树控制阀焊接层的超声检测系统。系统使用 5 MHz 超声直探头垂直入射超声波, 液浸法耦合, 采用 Bore, Raster 和 Polar 三种检测模式对试样的特定部位进行检测, 4 轴编码器给出三种模式的各自坐标位置, 扫描成像结果可以直观显示检测部位的缺陷形貌。对试样的检测结果表明, 该检测方法能够检测出焊接层中大小为 $\phi 3$ mm 的垂直圆孔人工缺陷, 对检测类似形状的工件提供了一种可行的检测方法。

关键词: 采油树; 超声 C 扫描成像; 超声检测

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2010)05-0376-04

Ultrasonic Testing of the Welding Layer of the Controlled Valve Used in Subsea Trees

WU Di¹, TENG Yong-Ping¹, ZHAO Zhong-Ling¹, KC Ong²

(1. School of Sciences, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. INNOTEST Company, Singapore 658079, China)

Abstract: The ultrasonic testing system of detecting the welding layer of the controlled valve used in subsea trees was manufactured. The 5 MHz probes were used, producing vertical incident ultrasound, coupled by liquid. Three different detection modes were designed to detect the corresponding specific positions. The coordinates of each location of the three modes were read by the 4-axis encoders. The results of scanning image could visually show the information of defects. The detection results showed that the detection method was able to detect the $\phi 3$ vertical round holes in the welding layer, which provided a feasible detection method to detect the work piece of the similar shape.

Keywords: Subsea trees; Ultrasonic C-scan image; Ultrasonic testing

井口装置及采油树设备是油气开采的重要设备, 用来连接套管柱、油管柱并密封各层套管之间及与油管之间的环形空间, 并可控制生产井口的压力和调节油(气)井口流量, 也可用于酸化压裂、注水和测试等特殊作业。采油树控制阀材质为不锈钢, 内部由于长期处在油水的浸泡之中, 很容易被腐蚀损坏, 所以在制造控制阀时, 通常在内部焊接一层防腐金属, 焊接完成后再用铣床将内表面处理平整。焊接层最容易出现的问题是未焊透, 与不锈钢之间形成面状缺陷, 在油水的长时间冲刷下剥离脱开, 腐蚀内部的不锈钢层, 所以必须在装配之前对此焊接层进行超声检测, 以保证焊接质量。使用手工超声检

测控制阀时, 存在检测效率低, 可能漏检, 无法保存检测波形, 检测结果的后处理分析十分困难。针对采油树控制阀超声自动探伤^[1-8]的实际需要, 新加坡 INNOTEST 公司联合笔者单位共同研制出针对采油树控制阀焊接层的超声波自动检测系统, 经过现场试验, 该方法能够较好地检测出试样中的人工缺陷。

1 检测方法

1.1 检测模式

采油树控制阀焊接层处在控制阀接头内壁, 其结构示意图如图 1 所示。

检测系统由机械扫描装置、电控单元和超声处理单元等三部分组成。超声检测中机械扫描装置利用 4 轴编码器分别给出三种模式的各自坐标位置, 扫描成像结果可以直观显示检测部位的缺陷形貌。

收稿日期: 2009-06-19

作者简介: 吴迪(1979—), 男, 讲师, 博士, 研究方向为超声检测。

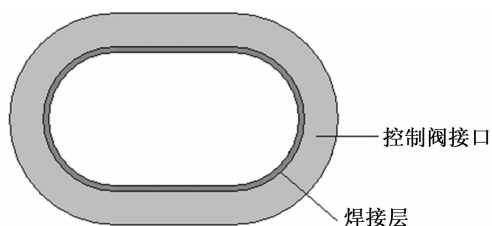


图1 控制阀接头焊接层示意图

其中 Bore 模式使用旋转轴和垂直轴、Polar 模式使用旋转轴和水平轴 1、Raster 模式使用垂直轴和水平轴 2 进行检测定位,三种检测模式如下:

(1) Bore 模式 探头组安装 7 个 5 MHz 直探头,声束入射方向沿图 2 中 r 方向,从上到下排列,探头间距 22 mm,旋转一周,向下移动 1 mm,再旋转。向下移动和旋转 22 次后,即可保证检测区域的全覆盖。接着探头组再向下移动 22 mm,开始检测新的区域。检测过程依次循环进行,用于检测控制阀焊接层的圆弧内壁。

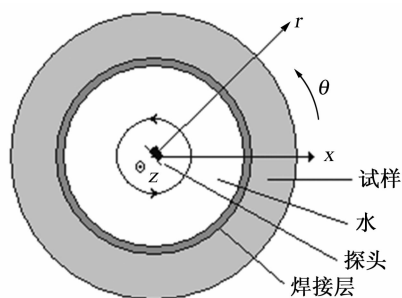


图2 圆筒试块示意图

(2) Polar 模式 使用 1 个 5 MHz 直探头,声束方向沿图 2 所示垂直 z 方向向下,探头可沿着 r 方向移动。检测时探头旋转一周,沿着 r 方向移动 1 mm,再旋转一周,再移动,保证检测区域的全覆盖。检测过程依次循环进行,用于检测控制阀焊接层的底面内壁。

(3) Raster 模式 和上述两种方法不同,该模式用于检测平面缺陷。探头组安装 7 个 5 MHz 直探头,声束方向垂直于图 3 所示纸面方向向内,从上到下排列。探头间距 22 mm,水平移动设定长度后向下移动 1 mm,再水平移动,经过 22 次移动后,保证检测区域的全覆盖。接着探头组再向下移动 22 mm,开始检测新的区域。检测过程依次循环进行,用于检测控制阀焊接层的平面内壁。

1.2 超声成像方法

超声液浸法中探头相对于试样表面的水层厚度有可能改变,在扫描检测时界面波会前后移动,所以

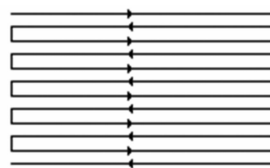


图3 Raster 模式探头移动路径图

采用了闸门跟踪方法将界面波在屏幕中的位置固定住。图 4 为典型缺陷回波图,此时探头声束对准工件内部缺陷,反射回来的缺陷波,显示在界面波的后面。由于缺陷深度可能较小,导致界面波和缺陷波难以分开,所以系统使用了中心频率为 5 MHz 的直探头,为提高回波的分辨率,对探头进行匹配,优化了探头性能。探头匹配前后的波形对比见图 5 所示。从图中可见,经过匹配的探头,波形较为尖锐,脉冲短,约为 2 个周期,且其频谱较宽而且均匀。判

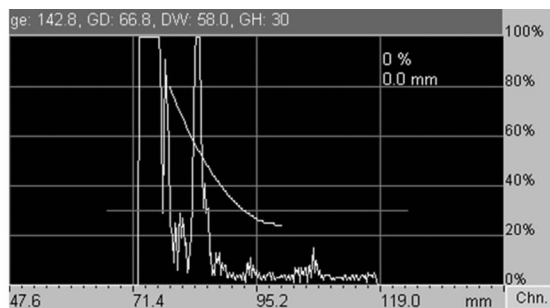
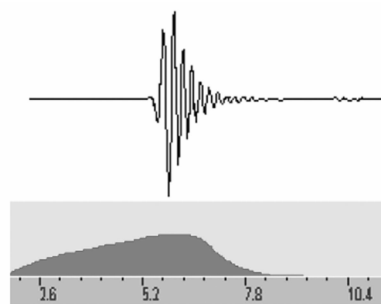
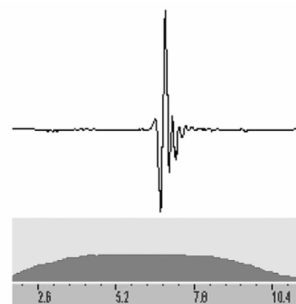


图4 直探头液浸法检测时的缺陷回波图



(a) 匹配前波形和频谱



(b) 匹配后波形和频谱

图5 探头匹配前后的波形和频谱对比(频谱单位为 MHz)

伤使用 DAC 曲线闸门,设定好 DAC 报警的位置和幅值,超过 DAC 曲线的回波在 C 扫描图像中用设定好的颜色标定,而如果没有缺陷,DAC 曲线内即没有超限回波,此时用其它颜色标识,这样连续扫描即可得到一幅 C 扫描图像。成像时色标设置如图 6 所示,不同的颜色可表示探头没有界面波信号、缺陷回波信号超过 DAC 闸门、缺陷回波信号超过小 3 dB 的 DAC 闸门以及有界面波但缺陷回波没有超限等不同情况。

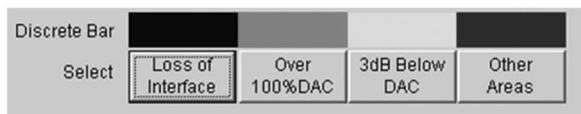


图 6 成像色标图

2 超声检测系统及软件

Bsplus 探伤系统是基于双 PC 机工作平台的 8 通道超声检测设备。设备由探伤机和控制机组成,它们通过以太网连接。探伤机为工业 PC 机,在工作中无需显示设备和输入输出设备,由控制机通过网络进行控制。控制机为商用笔记本(也可选用工业 PC 机),通过应用软件完成探伤工作,实现人机交互。

该设备的主要性能和特点为① 可以保存每个通道每次探伤的全波数据。② 具有完全数字化处理功能。③ 可以实现数字信号分析和处理功能。④ 模拟系统高度集成,具有较强的抗干扰能力。⑤ 网络传输数据,可以实现远程探伤控制。

Bsplus 探伤软件控制并显示所有探伤数据信息,并对检测结果作进一步分析处理。控制机的所有设置和操作都在 Bsplus 探伤软件中完成,操作简便、直观。

2.1 A 波显示界面

运行控制机桌面探伤程序后,即可进入探伤操作界面,A 波显示界面如图 7 所示。在 A 波显示界

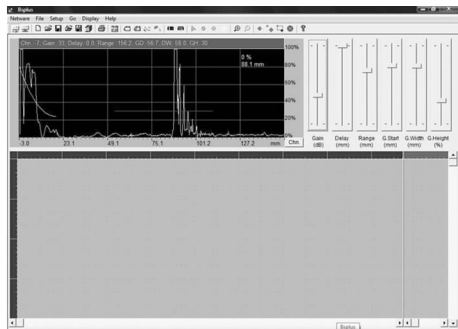


图 7 Bsplus 软件 A 波显示界面

面下,通过试样调节各参数,然后保存,为探伤做准备。图 8 所示为多通道显示界面,在多通道显示下可进行归一化设置,把被选中的当前通道参数应用到所有通道。

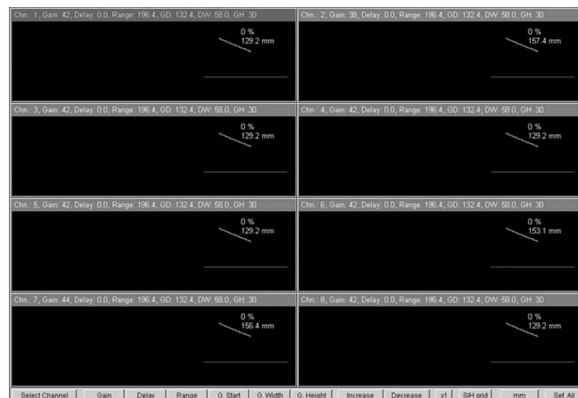


图 8 Bsplus 软件多通道 A 波显示界面

2.2 成像记录窗口

成像记录窗口如图 9 所示,分为 C 扫描和 B 扫描显示两个部分,左侧为 C 扫描,实时检测时记录扫描图像,右侧为 B 扫描,在后处理图像时显示鼠标所指断面的 B 型图像。



图 9 成像显示界面

3 检测结果

3.1 Bore 模式

为了方便标定该模式探伤灵敏度,加工了三种不同直径的圆筒试样,如图 10 所示,内径依次为 100,300 和 660 mm,焊接层厚度为 12 mm,每个圆筒试样都有从外向内垂直刻的人工圆孔缺陷,直径为 $\phi 3, 6$ 和 9 mm,距内侧面最小为 3 mm。

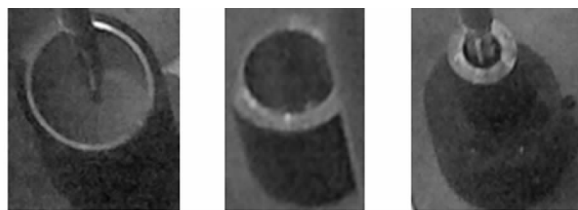
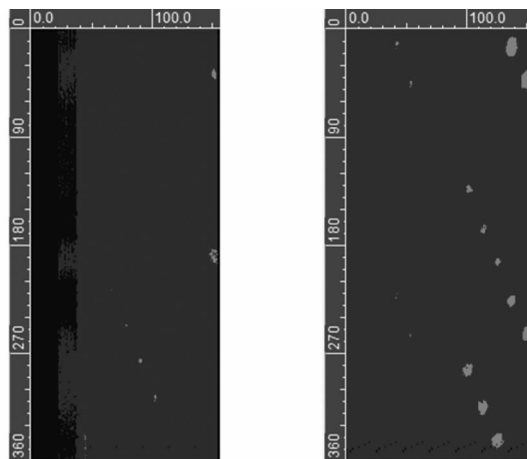
(a) $\phi 660$ mm (b) $\phi 300$ mm (c) $\phi 100$ mm

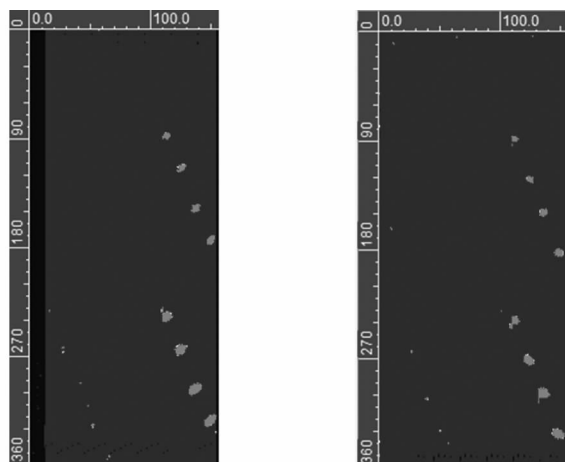
图 10 被测圆筒试样实物图

该模式使用上述圆筒试样进行检测,图 11 和 12 为圆筒试样成像检测图。缺陷在外壁上斜向分布,水平轴为深度值,单位 mm,垂直轴为角度值,单位为($^{\circ}$),成像图中浅灰色处(实际屏幕显示为红色)表示缺陷,缺陷成像大小表示缺陷实际大小。



(a) $\phi 3$ mm 圆孔 (b) $>\phi 3$ mm 圆孔

图 11 内径 $\phi 100$ mm 圆筒试样检测结果



(a) 内径 $\phi 300$ mm (b) 内径 $\phi 600$ mm

图 12 大中直径圆筒试样检测结果

由图 11 可见,由于检测圆筒试样直径小,在检测 $\phi 3$ mm 圆孔缺陷时,入射平面曲率较大,需要精细调节灵敏度和 DAC 闸门位置,才能检出 $\phi 3$ mm 圆孔缺陷。由图 12 可见,由于检测圆筒试样直径较大,故三种不同大小的圆孔缺陷均能清晰显示。图中显示的缺陷和圆筒试样中人工缺陷分布一致。

3.2 Raster 模式

该模式使用台阶标准试块进行检测。图 13 为扫描台阶标准试块成像后的图像,水平轴和垂直轴都为长度值,单位 mm。使用软件的测量功能得到图中从左至右人工孔深度依次为 5.2, 7.5, 9.5,

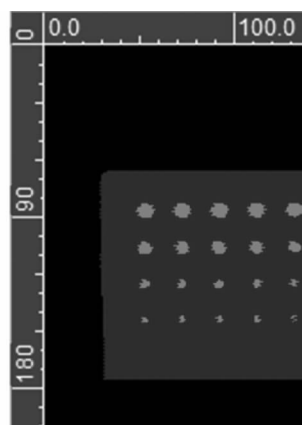
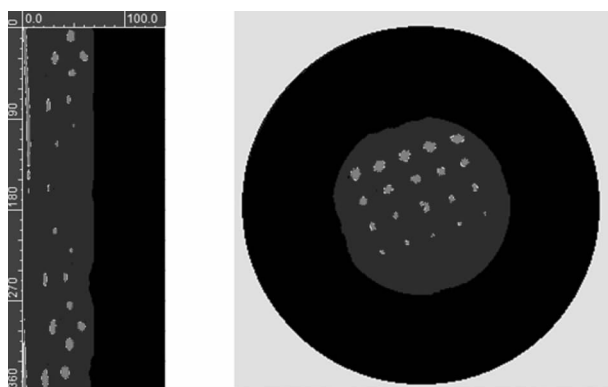


图 13 Raster 模式下台阶孔试块检测结果

11.5 和 13.5 mm,从上至下人工孔直径依次为 8.5, 7.0, 5.5 和 3.5 mm,示值和台阶标准试块中人工缺陷分布在误差范围内一致。

3.3 Polar 模式

该模式同样使用台阶标准试块进行检测。该模式下原始成像图和试样中人工缺陷分布不一致[图 14(a)],需要用 Polar 算法进行图像处理后才能得到实际缺陷分布图[图 14(b)]。



(a) C 扫描原始图像 (b) 用 Polar 算法处理后的图像

图 14 Polar 模式下台阶孔试块检测结果

4 结论

介绍了采油树控制阀焊接层的超声成像检测系统,对检测方法和检测软件功能作了说明,给出了不同试样部位的检测结果。结果表明该系统检测效果理想,机械结构可靠,对检测采油树控制阀焊接层具有较好的推广价值。

参考文献:

- [1] 滕永平,张志永. 汽轮机转子中心孔超声成像检测方法研究[C]//第一届国际机械工程学术会议,上海:中国机械工程学会,2000. (下转第 389 页)

组成人员应具有独立性、不提供与检测服务供应商类似的赢利性活动,应以公正性、权威性、良好的质量控制提供优质的行业服务。

(3) 现有技术基础与鉴定活动高质量要求的矛盾。例如,超声检测鉴定要求考试试块中缺陷应与欲检测的缺陷具有相类似的检测响应,但国内制造仿真缺陷的技术还有待提高。当然购买或租借国外鉴定试块是解决问题的途径之一。此外,国外已有30多年的相关研究和应用经验,但我国关于鉴定方法和体系的研究较少,特别是如何进行鉴定,例如用多少个、何类型、何特征、何分布的缺陷进行鉴定,才能兼顾效率与效果、成本与收益,实现鉴定的目的,提供满足鉴定要求的结果。

(4) 技术性、经济性的平衡。开展检测鉴定活动也应考虑其成本问题。过高或过低的检测要求分别会带来不可接受的成本或不可接受的安全裕度,同样,过大或不足的鉴定范围、过高或过低的鉴定要求,也会造成资源的浪费或安全的风 险,而失去鉴定工作的意义。例如,多年工程经验表明,不需鉴定,也能证实该检测活动按现有规范、程序操作能满足检测目的和要求的,如果也进行鉴定,则鉴定成本可能大于收益。

(5) 鉴定活动与结构完整性评价的关系。检测及其鉴定活动只是保证安全性的一个重要环节,应结合结构完整性评价的需要,确定合适的检测目的、适合的鉴定范围及鉴定合格的标准。

(6) 建议根据工程实际需求,以特定对象为例,初步开展相关鉴定活动。通过该活动,厘清相关组织、机构等在鉴定活动中的职责和作用,而后逐渐摸索建立适合我国国情的核电站在役检查无损检测鉴定技术和组织体系。

(7) 规范“检测鉴定”术语。ASME 中该活动用“Performance Demonstration”定义,一般译为“能力

验证”或“性能验证”;英国将该活动称为“Inspection Validation”,多译为“检测验证”;ENIQ 用“Inspection Qualification”定义这一活动,参考我国现有的无损检测人员资格鉴定这一术语的翻译,建议将其译为“检测鉴定”。

参考文献:

- [1] DG Joint Research Centre. European Methodology For Qualification of Non-destructive Tests (Second Issue) [EB/OL]. [1997-2]. <http://safelife.jrc.ec.europa.eu/eniq/docs/method/EUR17299EN.pdf>.
- [2] Miller C. Nondestructive Evaluation: A Review of NDE Performance Demonstrations—NDE Round Robin Report [R]. California: EPRI, 2008. 6:10-1.
- [3] 尼柯尔斯 R W. 压力容器技术进展-5 规范和标准 [M]. 北京:机械工业出版社, 1992:69-90.
- [4] Crutzen S. PISC III: A Status Report [EB/OL]. [1993]. <http://www.iasmirt.org/SMiRT12/GD16-1.pdf>.
- [5] Michel Bieth. Final Results of the PISC III Round Robin Test on Steam Generator Tube Inspection [EB/OL]. [1999-10]. <http://www.ndt.net/abstract/jrc98/data/27.htm>.
- [6] Waites C. Validation Experience at the IVC and its application at European Level through the European Network for Inspection Qualification [EB/OL]. [1993]. <http://www.iasmirt.org/SMiRT12/GD17-3.pdf>.
- [7] Behravesh M M. PWR Steam Generator Examination Guidelines; Revision 6 [R]. California: EPRI, 2001.
- [8] ASME 锅炉压力容器规范 XI 卷:核电厂设备在役检查规则 [S].
- [9] Arne Eriksson. European Methodology for Qualification of Non-destructive Tests (Third Issue) [EB/OL]. [2007-8]. http://safelife.jrc.ec.europa.eu/eniq/docs/method/ENIQ_31.pdf.

(上接第 379 页)

- [2] 吴迪,张兆东,韩秀甫,等. 通用扫描成像检测软件的开发及应用[J]. 无损检测, 2003, 25(8):403-406.
- [3] 蒋危平,田建新,王子诚. 数字化超声波探伤仪十五年技术进展[J]. 无损检测, 2004, 26(3):145-148.
- [4] 郭成彬,蒋危平. 认识数字超声探伤仪[J]. 无损检测, 2004, 26(3):149-158.
- [5] 王保军,滕永平,吴迪,等. 罐壁超声成像测厚系统的设

计[J]. 无损检测, 2005, 27(8):402-404.

- [6] 李明轩. 检测声学应如何面对时代的发展[J]. 应用声学, 2006, 25(3):129-130.
- [7] 王科,滕永平. 钻杆接头超声检测方法研究[J]. 无损检测, 2007, 29(6):338-340.
- [8] 陈宁宁,滕永平,王科. 机车车轮在线超声波检测方法研究[J]. 无损检测, 2007, 29(7):402-403.