

# 油罐焊缝缺陷的超声相控阵检测

刘丽川, 刘正凡, 舒丹, 常向东

(解放军后勤工程学院, 重庆 400016)

**摘要:**超声相控阵技术作为新型的无损检测技术已应用于油罐缺陷检测领域。针对实际焊缝中可能存在的裂纹、气孔、未熔合和未焊透等缺陷,设计制作了包含不同缺陷的焊缝试块。通过设定超声相控阵的声束角度、焦距位置和焦点尺寸等参数,可清晰检测到焊缝内部缺陷,并能较准确地判断内部缺陷的位置和大小。但相控阵技术对被检件表面要求较高,且需要制作多种试块。

**关键词:**超声检测;超声相控阵;无损检测;焊缝;缺陷定位

中图分类号: TG115.28

文献标志码:A

文章编号:1000-6656(2009)06-0475-03

## Application of Ultrasonic Phased Array on Weld Testing

LIU Li-Chuan, LIU Zheng-Fan, SHU Dan, CHANG Xiang-Dong

(Logistical Engineering University, Chongqing 400016, China)

**Abstract:** As a new technology, ultrasonic phased array has been tried to apply in the welds testing. A weld specimen was designed which included the actual defects, such as flaw of crack, air vent, incomplete fusion and incomplete penetration etc. The ultrasonic phased array system can detect the interior defects of welds clearly through controlling the parameter such as beam angle, Focal distance, Focus size and Focus length and so on. It could distinguish the location and the size of the interior defect exactly. The experiment result revealed that phased array technique had high requirement for the testing surface, and needed to make varies sample blocks.

**Keywords:** Ultrasonic phased array; Nondestructive testing; Weld; Defect location

超声相控阵技术以其灵活的聚焦和声束偏转等性能,在核电站检测、航空材料以及石油化工管道焊缝检测等领域得到广泛的应用<sup>[1-2]</sup>。

笔者针对焊缝中常见的裂纹、气孔、未熔合和未焊透等缺陷,设计并制作了包含各种缺陷的焊缝试块,运用超声相控阵技术对焊缝试块进行检测,从检测结果来分析超声相控阵技术对焊缝缺陷的检测适用性及成效。

## 1 超声相控阵检测原理

超声相控阵换能器是由多个相互独立的压电晶片组成阵列,通过电子系统按照一定的时序控制激发各个晶片的电压相位,使各单元发射的超声波产

生叠加,形成一个新的波阵面<sup>[3]</sup>。

超声相控阵技术可以灵活、便捷而有效地控制探头晶片的电压相位,以控制其声束的性能(如声束角度、焦距、焦点尺寸及位置)在一定范围内连续动态可调。

笔者采用32通道的超声相控阵探伤仪进行焊缝检测试验,试验系统如图1所示。探头的主要技术参数为:频率为5.00 MHz,32个晶片一维排列,斜楔为有机玻璃,楔角为36°,斜楔中的声速为

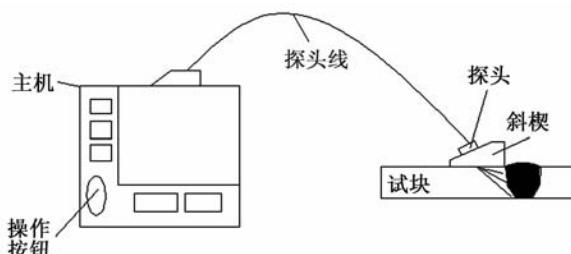


图1 试验系统示意图

收稿日期:2008-06-26

基金项目:军队油料科研项目(油20070205)

作者简介:刘丽川(1960—),女,教授,博士生导师,从事油气储运技术研究工作。

2.33 mm/μs;信号的发射和接收集成在同一探头上,回波信号采样频率为100 MHz,以3 000 Hz脉冲重复频率(PRF)工作。探头与试件之间采用柴油机油作为耦合剂。

## 2 焊缝试块

在石油与天然气行业中各种储油容器和输油管道焊缝的机械性能主要受焊缝内部存在的裂纹、未焊透、未熔合、夹渣和气孔等缺陷的影响。针对各种典型的焊缝缺陷,设计制作了焊缝试块。试块的规格为600 mm×300 mm×9 mm,材料均为20号钢,坡口为搭接焊,缺陷数量为5个,焊接方法为手工电弧焊,试块见图2。

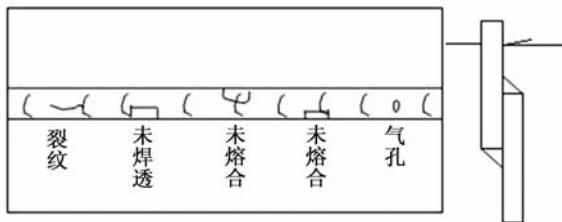


图2 焊缝缺陷试块示意图

## 3 试验结果与分析

### 3.1 仪器标定

采用预制有不同缺陷的标准试块对仪器进行标定。标定时对仪器和探头的相关参数设置如下:扫描类型为直线型;聚焦类型为恒定位移;分辨率为0.5°;聚焦距离70 mm;探头频率3 000 Hz;开始角度30°;结束角度70°;开始距离4.98 mm;结束距离54.92 mm;显示延迟1.30 ns和增益值35 dB。标准试块的尺寸为150 mm×100 mm×25 mm,试块材料为20号钢,试块内包含了4种不同直径、深度和方向的通孔缺陷(图3)。分别按S扫描和A扫描方式进行仪器参数标定,标定结果及数据见图4。图4(a)中数值82%表示对应A扫描中波峰值占据屏幕的高度。

### 3.2 探头位置

将探头前沿与焊缝边缘靠近,按照一定的扫查路径对焊缝内部和缺陷进行扫查(图5),按下式对检测搭接焊缝时的探头位置进行计算。

$$\tan \alpha = \frac{X}{H} \quad \tan \beta = \frac{X + L_1}{H}$$

式中H为板厚;X为探头标定原点到焊缝边缘的距离;L<sub>1</sub>为焊缝宽度。当H=9 mm,L<sub>1</sub>=12 mm,X

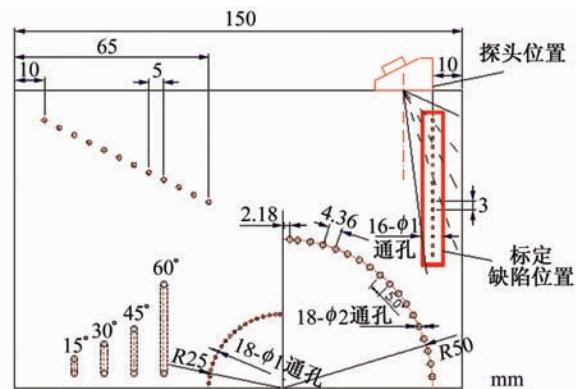
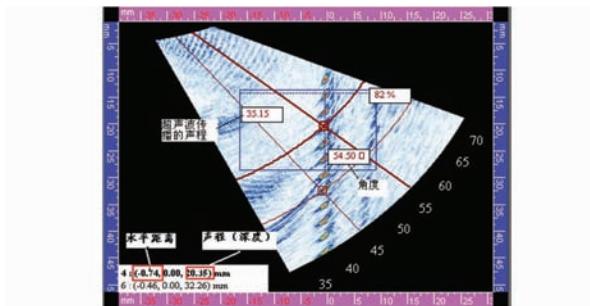
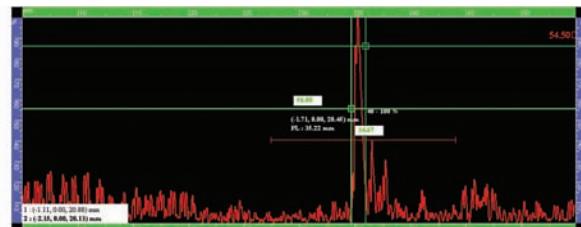


图3 标准试块



(a) S 扫描



(b) A 扫描

图4 仪器标定时的S和A扫描图

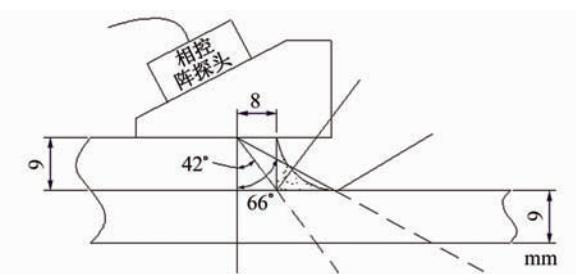


图5 探头检测位置

=8 mm时,有 $\alpha=41.1^\circ, \beta=65.77^\circ$ 。角度取整为 $\alpha=42^\circ, \beta=66^\circ$ ,即在探头前沿与焊缝接触处进行检测时,超声波覆盖焊缝角度范围在42°~66°之间较合理。仪器标定的参数中:开始角度为30°,结束角度为70°,包含此范围内。

### 3.3 试验与结果

根据需要可以采取自动或者手动的扫查方式,文中的试验数据均为手动检测。用标定好的仪器在焊缝试块上进行缺陷扫查。将探头置于焊缝试块上,先后对焊缝试块上的1~5号缺陷进行扫查。可得到如图6所示的二维缺陷图。

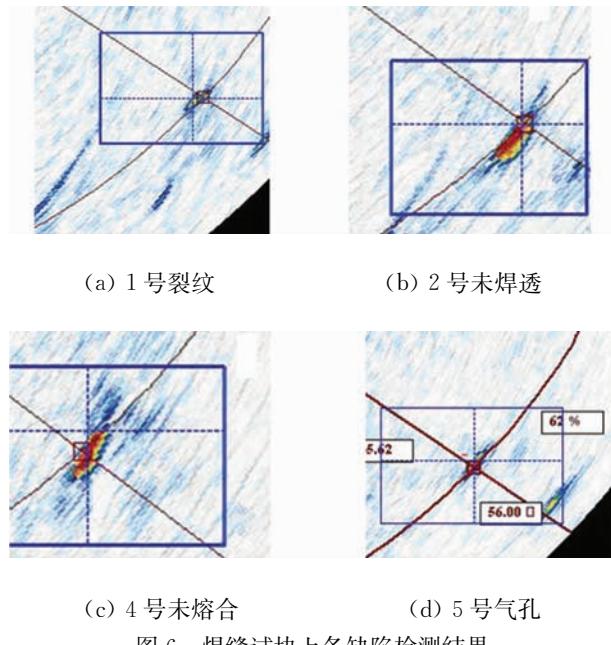


图6 焊缝试块上各缺陷检测结果

检测步骤如下:①预先定基准位。②对同一位置的焊缝进行不同方向扫查。③对检测位置进行标注。④对缺陷进行定位和定量。⑤保存检测数据。

### 3.4 试验数据分析

由图6可见,未焊透和未熔合缺陷结果比较明显。图6a和d中的检测结果比较模糊,尤其是1号裂纹缺陷处的检测结果比5号气孔缺陷的检测结果更差。这是因为裂纹处的超声波信号在材料传播的方向与裂纹的位置有关,如果裂纹的方向与超声波在材料中传播的方向相同,则其灵敏度降低,甚至可能无法发现该位置的裂纹缺陷。而当裂纹的方向与超声波在材料中传播的方向垂直时,其灵敏度最高,检测结果也越清晰。气孔缺陷的超声波回波则与信号传播方向关系不大。但图6(d)中气孔缺陷的检测结果不是很明显,这是因为在制作人工缺陷时,气孔缺陷加工不是很标准,与气孔缺陷的形状有一定的差别。

超声相控阵检测后用软件分析处理得焊缝试块上缺陷的位置和尺寸,见表1。

图6(c)中4号未熔合的表面距离位于探头前

表1 焊缝试块上缺陷的位置和大小<sup>1)</sup>

mm

编号	SD1	D1	SD2	D2	$ SD1 - SD2 $	$ D1 - D2 $
1号	1.968	19.74	2.41	19.17	0.442	0.57
2号	5.98	25.73	7.46	24.02	1.48	1.71
3号	3.43	27.03	4.97	24.22	1.54	2.81
4号	4.12	12.67	5.22	10.99	1.1	1.68
5号	7.98	25.96	9.07	24.79	1.09	1.17

注:1) SD—水平距离, mm; D—深度, mm;  $|SD1 - SD2|$ —水平方向的长度, mm;  $|D1 - D2|$ —垂直方向的长度, mm。

沿4.12~5.22 mm处;深度位于探头楔块底面以下12.67~10.99 mm处。缺陷的大小为:水平方向长约1.1 mm,深度为1.68 mm。由缺陷的位置和大小,根据相关标准可以给后续的评价工作提供方便。

### 4 结论

(1) 超声相控阵在焊缝试块中检测时,操作灵活方便、缺陷定位准确,检测灵敏度高以及可控性好,具有推广的实用价值。

(2) 检测结果直观,可实时显示。在扫查的同时可对焊缝进行分析、评判,也可打印、存盘,实现检测结果的永久性保存,避免X射线底片不易携带、不易保存的缺点。作业强度小,无辐射、无污物。

(3) 相控阵技术对焊缝试块中的气孔、未焊透和未熔合等体积型缺陷识别能力强,不用考虑其方向性;但是对裂纹缺陷的检测要考虑超声波传播时方向性,否则有可能漏检。

超声相控阵检测技术的局限性为:

(1) 对被检对象表面光洁度、焊缝工艺完整性要求较高。

(2) 检测不同壁厚、不同规格和材料的试件时,需要制作相同材料和不同尺寸缺陷的试块对仪器进行标定。

### 参考文献:

- [1] Blanquet P, Demol T, Delebarre C. Application of array transducers to health monitoring of aeronautic structures[C]. Proc of 14<sup>th</sup> WCNDT. New Delhi:[s. n.], 1996:2057—2060.
- [2] 单宝华,喻言,欧进萍.超声相控阵检测技术及应用[J].无损检测,2004,26(5):235—238.
- [3] 美国无损检测学会,编.美国无损检测手册·超声卷(上册)[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,1996:438—444.