

# 安放式接管角焊缝相控阵超声检测可行性研究

余明 薛昭鹏 惠武峰 寇威 王景人  
陕西省特种设备检验检测研究院 陕西 西安 710048

**摘要:** 结合安放式接管角焊缝的特点,就相控阵超声检测技术实施的可行性进行了研究,并且结合模拟试验和实例对工艺的应用效果进行了验证,结果显示相控阵超声检测有着良好的检测效果,能够为接管角焊缝的无损检测提供有效技术支持。

**关键词:** 安放式接管;角焊缝;相控阵超声检测

前言:现阶段,对于管道角焊缝的检测,比较常用的无损检测方式主要是磁粉检测和脉冲反射超声检测,但是从实际应用的角度分析,磁粉检测只能对被检测工件的表面和近表面缺陷进行检测,无法实现对于焊缝内部缺陷的有效检测;脉冲反射超声检测能够检测焊缝内部缺陷,但是存在着声束折射角度单一的问题,想要借助一次波与一次反射波实现对于角焊缝声束的全面覆盖,存在较大的难度,而且有盲区存在,无法实现检测数据的成像和记录。不仅如此,脉冲反射超声检测的反射波识别难度大,缺陷定位方法比较复杂,探头折射的角度选择困难,实际应用效果并不理想。想要借助超声检测技术达到良好的检测效果,需要检测人员具备丰富的经验,同时还必须保障试块尺寸精准。基于此,想要利用常规的无损检测方法,实现对于管道角焊缝的精准检测,存在较大的难度<sup>[1]</sup>。

在装置及管道的安装中,安放式接管角接头通常会设置补强板进行补强,而从实践的角度,必须做好焊接接头的检测工作,确保其满足相关标准的要求后,才能对补强板进行焊接。接管角焊缝本身在被补强板角焊缝覆盖的情况下,无法采用渗透检测或者磁粉检测,特殊的结构也限制了射线检测技术的应用。常规的脉冲反射超声检测技术虽然能够被应用到检测工作中,但是其操作难度较大,无法实现对于检测区域的全面覆盖,检测结果欠缺直观性和有效性。

## 1 相控阵超声检测概述

相控阵超声检测是依照设定好的延迟法则,激发阵列探头中设置的独立压电晶片(阵元),完成对于声束的合成、移动、偏转以及聚焦等功能,对各个阵元接收到的超声信号进行处理,通过图像的形式,将被检测对象的内部状态呈现出来。

相控阵超声检测设备包含了相控阵主机以及相控阵探头,探头包含了若干晶片,每个晶片都可以形成独立

的发射/接收单元,对晶片的激发延迟时间进行控制,也能够改变晶片发射或者接收超声波的相位关系,获取所需声束,以此来实现对超声方向及焦点深度的控制和调整。超声波的激发方式不同,获得的声束也会有所不同,具体见图1。

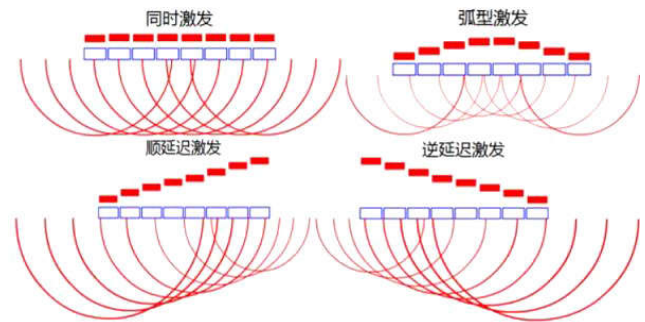


图1 不同激发方式得到的声束

相控阵超声检测工艺从产生至今,已经有数十年的发展历史,其在发展初期,主要被应用在医疗领域,如医学超声成像中,可以借助相控阵换能器,实现声束的快速移动,将被检查器官的图像呈现出来;借助大功率超声所具备的可控聚焦特性,能够通过局部升温的方式实现对癌症的治疗,在提高目标组织温度的同时,可以减少非目标组织对于功率的吸收。在发展初期,因为被检设备的复杂性及在固体介质中超声传播的复杂性,加之较高的成本费用,相控阵超声检测没有在工业无损检测中得到有效应用。随着计算机技术、电子技术等快速发展,相控阵超声检测技术开始逐渐被应用到工业无损检测,尤其是在航空及核工业领域。例如,利用相控阵超声检测技术,可以对核电站主泵的隔热板进行检测,也可以对核废料电子束环焊缝进行全自动检测,能够被用于薄铝板摩擦焊缝热疲劳裂纹的检测<sup>[2]</sup>。伴随着数字化技术和DSP技术的发展,精确延时的便利性不断提高,也为相控阵超声检测技术的发展提供了良好的技术支持,使其应用取得了较为理想的效果。

相控阵超声检测技术具有非常显著的优点,如可以对数据和图像进行记录,可以通过一次扫描实现对于全部检测区域的有效覆盖,可以对一些复杂形状的产品进行检测,而且对比传统横波超声检测,对于缺陷尺寸的测量更加精准。相控阵超声检测技术在结合成像技术的情况下,能够提供更加直观的信息,将工件内部的检测结果直观呈现出来,准确反映其缺陷状况,确定好缺陷的位置和尺寸,也能够体现焊接接头的力学性质和声学性质,以实现对于焊缝缺陷的有效评价。

## 2 可行性研究及验证

以某化工装置中带有补强板的安放式支管接头作为检测对象,母管材质为A672C60,规格为 $\phi 1219\text{mm} \times 9.53\text{mm}$ ,支管材质为A672C60,规格为 $\phi 323.9\text{mm} \times 9.53\text{mm}$ 。借助仿真软件对相控阵超声检测进行分析,设置相应的相控阵检测工艺,在模拟试块上进行工艺验证,相控阵超声检测技术在安放式角焊缝检测中的可行性进行了研究及验证。

### 2.1 仿真分析

依照装置角焊缝的实际情况,构建工件仿真模型(见图2),将探头置于支管外壁(见图3),使用一次波对角焊缝根部区域进行检测,使用二次波对角焊缝表面及中部区域进行检测,具体的检测工艺参数见表1。



图2 工件仿真模型

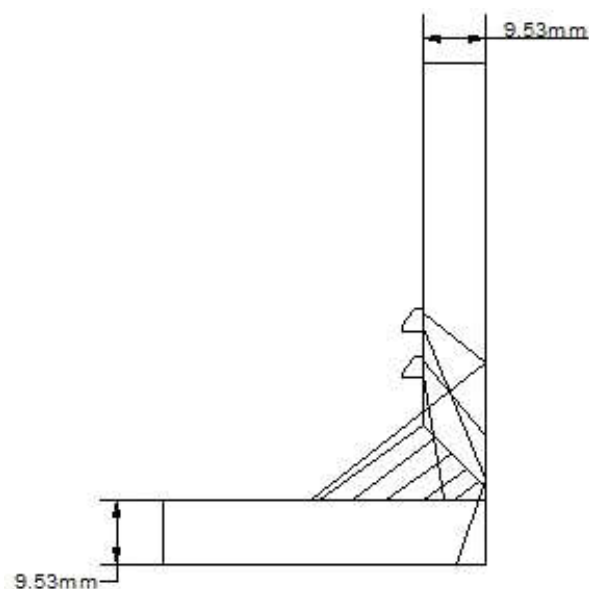


图3 探头位置示意图

表1 相控阵超声检测工艺参数

编号	探头频率/MHz	楔块角度/ $^{\circ}$	激发孔径/mm	晶片数量/个	初始激发晶片数量/个	探头前端距/mm	反射波次数/次	角度范围/ $^{\circ}$
1	7.5	39	7.9	16	1	7	0	50-75
2	7.5	39	7.9	16	1	14	1	38-72

将上述工艺参数加载到工件模型中,利用相应的相控阵超声仿真软件进行分析计算,在相应聚焦法则下,可以明确声束覆盖范围以及声场在工件中的实际分布情况。结合仿真分析可知,依照设定好的工艺参数,在探头中心能量场-6dB范围内,声场可以实现对于焊缝检测区域的全面覆盖,在检测区域内可以实现对于声场能量

的高效利用。因此,从理论层面,相控阵超声检测工艺有着初步的可行性,不过需要结合模拟试块做好更进一步的验证<sup>[3]</sup>。

### 2.2 试块验证

(1) 试块制作。对照相应的焊接工艺,对模拟试块进行制作,预设缺陷信息如表2所示。

表2 模拟试块预设缺陷信息

缺陷编号	缺陷位置/mm	缺陷高度/mm	缺陷长度/mm	缺陷类型	备注
1	-263	1.5	40	根部未焊透	
2	4	$\phi 2$	$\phi 2$	气孔	3处
3	469	2	35	坡口未熔合	

(2) 参数调整。设备型号为Phascan,选择的探头为7.5ML16-0.5 $\times$ 10,楔块角度 $39^{\circ}$ ,选择RB-C-1试块作为对比试块,对照表1中的工艺参数设置,做好相应的调校工作。

(3) 验证分析。在对比试块上进行设备的调校,对模拟试块进行检测,对比检测结果分析,相控阵超声检测工艺能够对模拟试块中存在的缺陷进行有效检测,检测结果和预制结果基本一致,检测结果如表3所示。

表3 模拟试块检测缺陷信息

缺陷编号	缺陷位置/mm	缺陷高度/mm	缺陷长度/mm	缺陷类型	备注
1	-260	1.8	43	根部未焊透	
2	5	φ2	φ2	气孔	3处
3	472	2.2	37	坡口未熔合	

通过模拟试验可知，运用此相控阵超声检测工艺能够实现对于安放式接管角焊缝的高效检测，可以检测出其中存在的缺陷，明确缺陷的位置、数量和尺寸参数，也从试验的角度证明了相控阵超声检测工艺的可行性。

### 3 实例验证

某电厂在进行设施设备安装的过程中，针对冷却系统管道连接位置的角焊缝质量进行了抽样检测，接管外径为60mm，壁厚为6mm。结合相控阵超声检测工艺对角焊缝进行检测，发现在18号焊口位置，存在有两处超标缺陷，为了能够对相控阵超声检测结果的准确性进行验证，使用专用射线检测的方式，对焊口进行了复检。

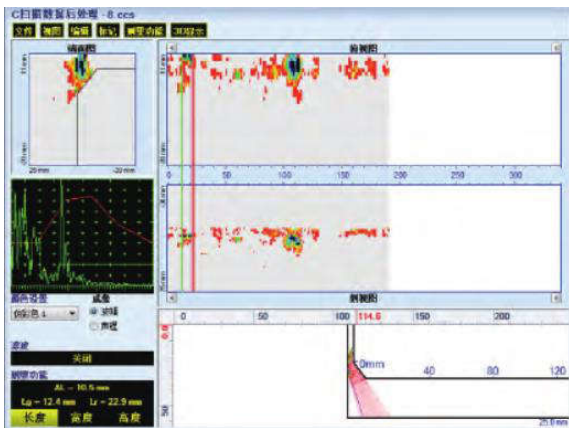


图4 未焊透缺陷数据分析示意

#### 3.1 对比两种工艺的未焊透缺陷检测结果

在相控阵超声检测工艺中，检测到的未焊透缺陷数据分析示意图为图4，缺陷测量长度为10.5mm；在射线检测工艺中，显示的是未焊透缺陷，缺陷长度为9mm，其他区域没有发现明显缺陷。

#### 3.2 对比两种工艺的气孔缺陷检测结果

在相控阵超声检测工艺中，检测到的气孔缺陷数据分析示意图为图5，缺陷测量长度为4.9mm；在射线检测工艺中，显示的是气孔缺陷，气孔直径为4mm，其他区域没有发现明显缺陷。



图5 气孔缺陷数据分析示意

对比两种工艺检测方法可知，相控阵超声检测工艺与射线检测工艺在缺陷位置和缺陷性质判定方面基本一致，在缺陷长度判定方面存在一定差异，但是处于允许范围内。同时，相控阵超声检测工艺检测得到的缺陷长度大于射线检测的数值，表明其在缺陷检测方面有着更高的灵敏度<sup>[4]</sup>。

### 4 结语

总而言之，在安放式接管角焊缝检测中，常规的检测方法存在很大的局限性，操作难度大，而且存在内部缺陷难以检测的情况。对此，提出了基于相控阵超声检测工艺的检测方法，就工艺在角焊缝缺陷检测中的可行性进行了研究，结果显示：

(1) 通过相控阵超声仿真分析的方式，运用相控阵超声检测技术，能够在-6dB的声场范围内，实现对于检测区域的全面覆盖；

(2) 利用专用的相控阵超声检测工艺，结合模拟试块进行验证分析，模拟的三种缺陷都可以被准确检测出来，检测效果良好；

(3) 相控阵超声检测技术能够为安放式接管角焊缝检测提供全新的技术手段，也可以为相关设备及系统的稳定可靠运行提供相应的技术支撑。

### 参考文献

[1]唐飞阳亮,杨晶,魏培生,等.在役压力容器搭接角焊缝的相控阵超声检测[J].无损检测,2021,(07):64-66,70.  
 [2]顾祁超.管座角焊缝相控阵超声检测工艺研究[J].电站辅机,2022,(01):10-14.  
 [3]简添福,郭志贤,林东文.基于相控阵超声检测技术的钢构件角焊缝检测[J].化工装备技术,2021,(03):38-40.  
 [4]齐高君,王耀礼,丁成海,等.小径管管座角焊缝相控阵超声检测工艺[J].无损检测,2019,(10):44-49.