

ICS 号  
中国标准文献分类号

# 团 体 标 准

团体标准编号  
代替的团体标准编号

---

## 钢制承压设备焊接接头相控阵超声检测

**Phased array ultrasonic testing of welded joints of steel pressure  
equipment**

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

中国特种设备检验协会 发布

# 目 录

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 1 范围 .....                                       | 1  |
| 2 规范性引用文件 .....                                  | 1  |
| 3 术语和定义 .....                                    | 1  |
| 4 一般要求 .....                                     | 4  |
| 5 使用原则 .....                                     | 8  |
| 6 钢制承压设备焊接接头相控阵超声检测和质量分级 .....                   | 10 |
| 7 钢制承压设备管子和压力管道环向对接接头相控阵超声检测和质量分级 .....          | 18 |
| 8 报告和存档 .....                                    | 22 |
| 附录A（资料性附录）奥氏体不锈钢对接接头相控阵超声检测方法和质量分级 .....         | 23 |
| 附录B（规范性附录）相控阵超声检测仪器和探头性能指标要求 .....               | 27 |
| 附录C（资料性附录）200mm~400mm钢制承压设备焊接接头相控阵超声检测和质量分级 .... | 29 |
| 附录D（资料性附录）横波端点衍射法测量缺陷自身高度 .....                  | 32 |

# 钢制承压设备焊接接头相控阵超声检测

## 1 范围

1.1 本标准规定了在制和在用钢制承压设备采用相控阵超声检测的方法和质量分级要求，按本标准技术要求进行的相控阵超声检测为可记录的脉冲反射法超声检测。

1.2 本标准适用于：

- a) 公称壁厚为 6mm~400mm 的铁素体钢制承压设备全焊透结构形式的焊接接头相控阵超声检测；
- b) 公称壁厚大于等于 3.2mm、外径大于等于 32mm 的铁素体钢制承压设备管子和压力管道环向对接接头相控阵超声检测；

1.3 公称壁厚为 3.2mm~80mm、外径大于等于 32mm 的奥氏体不锈钢及其他细晶各向同性、低声衰减金属材料焊接接头，可参照本标准附录 A 执行，但应考虑材料声学特性的变化。

1.4 本标准不适用于内径小于等于 200mm 的管座角接接头检测。

1.5 与承压设备有关的支撑件和结构件焊接接头的相控阵超声检测也可参照本标准执行。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

|               |                            |
|---------------|----------------------------|
| GB/T 12604.1  | 无损检测 术语 超声检测               |
| NB/T 47013.1  | 承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求       |
| NB/T 47013.3  | 承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测       |
| NB/T 47013.4  | 承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测       |
| NB/T 47013.5  | 承压设备无损检测 第 5 部分：渗透检测       |
| NB/T 47013.6  | 承压设备无损检测 第 6 部分：涡流检测       |
| NB/T 47013.10 | 承压设备无损检测 第 10 部分：衍射时差法超声检测 |
| JB/T 10063    | 超声探伤用 1 号标准试块 技术条件         |

## 3 术语和定义

GB/T 12604.1、NB/T 47013.1 和 NB/T 47013.10 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

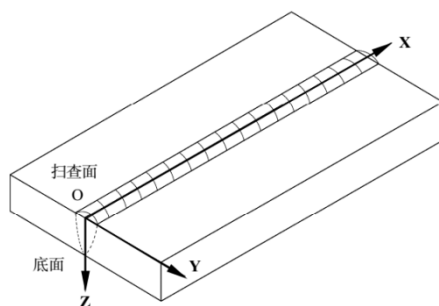
#### 坐标定义 coordinate definition

规定检测起始参考点 O 以及 X、Y 和 Z 坐标的含义，如图 1 所示。

### 3.2

#### 相控阵超声检测 phased array ultrasonic testing

根据设定的延迟法则激发相控阵阵列探头各独立压电晶片（阵元），合成声束并实现声束的移动、偏转和聚焦等功能，再按一定的延迟法则对接收到的超声信号进行处理并以图像的方式显示被检对象内部状态的超声检测技术。



O——设定的检测起始参考点；X——沿焊缝长度方向的坐标；  
Y——沿焊缝宽度方向的坐标；Z——沿焊缝厚度方向的坐标

图 1 坐标定义

### 3.3

#### 延迟法则 delay law

参与波束形成的发射和接收探头阵元以及对应每个阵元的发射电路和接收电路时序与时间间隔的控制法则，一般包含阵元延迟法则、发射延迟法则、接收延迟法则等。阵元延迟法则可以控制阵元激发的数量、起始位置；发射延迟法则可以控制发射声束的偏转、聚焦和聚焦偏转；接收延迟法则可以动态地改变接收信号的聚焦延迟，控制接收声束的动态聚焦。

### 3.4

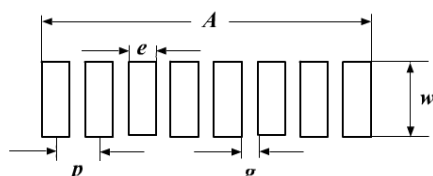
#### 激发孔径 active aperture

相控阵探头一次激发阵元的尺寸。对于线阵探头（如图 2 所示），其主动方向上的激发孔径长度 A 按式（1）计算：

$$A = n \cdot e + g \cdot (n - 1) \quad (1)$$

式中：

n——激发阵元数量。



A——激发孔径；g——相邻阵元之间的间隙；  
e——阵元宽度；p——相邻两阵元中心线间距；w——阵元长度

图 2 激发孔径

### 3.5

#### 电子扫描 electronic scanning

指以电子方式实现对工件的扫查，即通过延迟法则实现波束的移动或角度偏转，使之扫过工件中被检测区域。

### 3.6

#### 线扫描 linear electronic scanning (E-scan)

采用不同的阵元和相同延迟法则得到的声束，在确定范围内沿相控阵探头长度方向扫描被检件，以实现类似常规手动超声波检测探头前后移动的检测效果，也称作 E 扫描。线扫描包括直入射线扫描和斜入射线扫描两种。

### 3.7

#### 扇扫描 sectorial electronic scanning (S-scan)

采用同一组阵元和不同延迟法则得到的声束，在确定角度范围内扫描被检件，也称作 S 扫描。

### 3.8

**探头前端距** probe position

焊接接头检测时，探头前端距焊缝中心线的距离。

### 3.9

**机械扫查** mechanical scan

以机械方式实现对工件的扫查，即通过移动探头实现波束的移动，使之扫过工件中的被检测区域。

### 3.10

**沿线扫查** parallel scan

探头在距焊缝中心线一定距离  $S$  的位置上，平行于焊缝方向进行的直线移动，以获得并记录声束覆盖范围内整条焊缝信息，如图 3 所示。

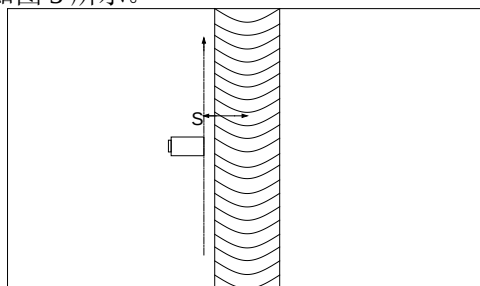


图 3 沿线扫查

### 3.11

**斜向扫查** oblique scan

焊接接头检测时，入射声束方向与焊接接头中心线成一定夹角，按照给定的探头距离进行扫查的方式，一般用于保留余高焊接接头横向缺陷的检测，如图 4 所示。

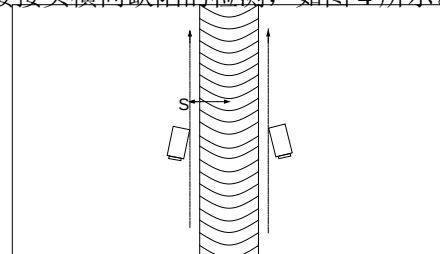


图 4 斜向扫查

### 3.12

**B 型显示** B-display

工件端面投影图显示，即主视图，图像中横坐标表示扫描的宽度，纵坐标表示扫描的深度，B 扫描显示表示检测区域在 Y-O-Z 平面的投影，如图 1 所示。

### 3.13

**C 型显示** C-display

工件平面投影图显示，即俯视图，图像中横坐标表示沿线扫查移动的距离，纵坐标表示扫描的宽度。焊缝检测时，C 扫描显示表示检测区域在 X-O-Y 平面的投影，如图 1 所示。

### 3.14

**D 型显示** D-display

工件侧面投影图显示，即侧视图，图像中横坐标表示沿线扫查移动的距离，纵坐标表示深度。

焊缝检测时，D 扫描显示表示检测区域在 X-O-Z 平面的投影，如图 1 所示。

### 3.15

#### S 型显示 S-display

由扇扫描声束组成的扇形图像显示，图像中横坐标表示离开探头前沿的位置，纵坐标表示深度，沿扇面弧线方向的坐标表示角度。焊缝检测时，S 型显示的是探头前方焊缝的横截面信息。

### 3.16

#### 角度增益补偿（ACG） angle corrected gain

使扇扫描角度范围内不同角度的声束检测同一声程相同尺寸的反射体回波幅度等量化的增益补偿，也称作角度修正增益。

### 3.17

#### 时间增益修正（TCG） time corrected gain

对不同声程相同尺寸的反射体的回波幅度进行增益修正，使之达到相同幅值。

### 3.18

#### 相关显示 relevant indication

由缺陷引起的显示。

### 3.19

#### 非相关显示 non-relevant indication

由于工件结构（例如焊缝余高或根部）或者材料冶金结构的偏差（例如金属母材和覆盖层界面）引起的显示。包括由错边、根焊和盖面焊以及坡口形状的变化等引起的显示。

## 4 一般要求

### 4.1 检测单位及人员

4.1.1 从事相控阵超声检测的单位应具有一定的研究基础和工程经验，并具有对任意结构焊接接头进行工艺仿真的能力。

4.1.2 检测人员应取得特种设备行业超声检测 II 级资格两年以上或具备超声 III 级资格，熟悉相控阵超声设备的使用、调试和结果评定。

4.1.3 对于从事简单几何形状钢制对接接头相控阵超声检测的人员，应具有一定的金属材料、焊接、热处理及承压设备制造安装等方面的基本知识；对于从事其他检测对象的相控阵超声检测人员，还应了解相关材料、结构和制造工艺，经过专项训练，并具备一定的检测经验和相应的检测能力。

### 4.2 设备和器材

#### 4.2.1 相控阵超声检测仪器

- a) 至少应具有超声波发射、接收、放大、数据自动采集、记录、显示和分析功能；
- b) 应符合其相应的产品标准规定，具有产品质量合格证或制造厂出具的合格文件，且其性能应满足附录 B 的要求；
- c) 检测过程中应有耦合监视。

#### 4.2.2 相控阵超声探头

- a) 相控阵探头分为线阵相控阵探头和面阵相控阵探头；
- b) 相控阵探头必须符合产品质量技术要求，且其性能应满足附录 B 的要求。

#### 4.2.3 相控阵超声扫查装置

- a) 扫查装置一般包括探头夹持部分、驱动部分和导向部分，并安装记录位置的编码器；
- b) 探头夹持部分应能调整和设置探头中心间距，在扫查时保持探头中心间距和相对角度不变；

- c) 导向部分应能在扫查时使探头运动轨迹与参考线保持一致;
- d) 驱动部分可以采用马达或人工驱动;
- e) 扫查装置中的编码器, 其位置分辨率应符合本标准的工艺要求。

#### 4.2.4 试块

##### 4.2.4.1 试块分为标准试块、对比试块和模拟试块。

##### 4.2.4.2 试块材料

制作对比试块和模拟试块的材料, 应符合下列要求之一:

- a) 应采用与被检测工件声学性能相同或相似的材料制成;
- b) 材料用直探头检测时, 不得出现大于  $\phi 2\text{mm}$  平底孔回波幅度  $1/4$  的缺陷信号。试块的制作要求应符合 JB/T 10063 的规定。

##### 4.2.4.3 标准试块

用于相控阵超声检测系统性能的测试及增益补偿调试的试块。本标准采用的标准试块为 CSK- I A 试块和声束控制评定试块 (见图 5)。

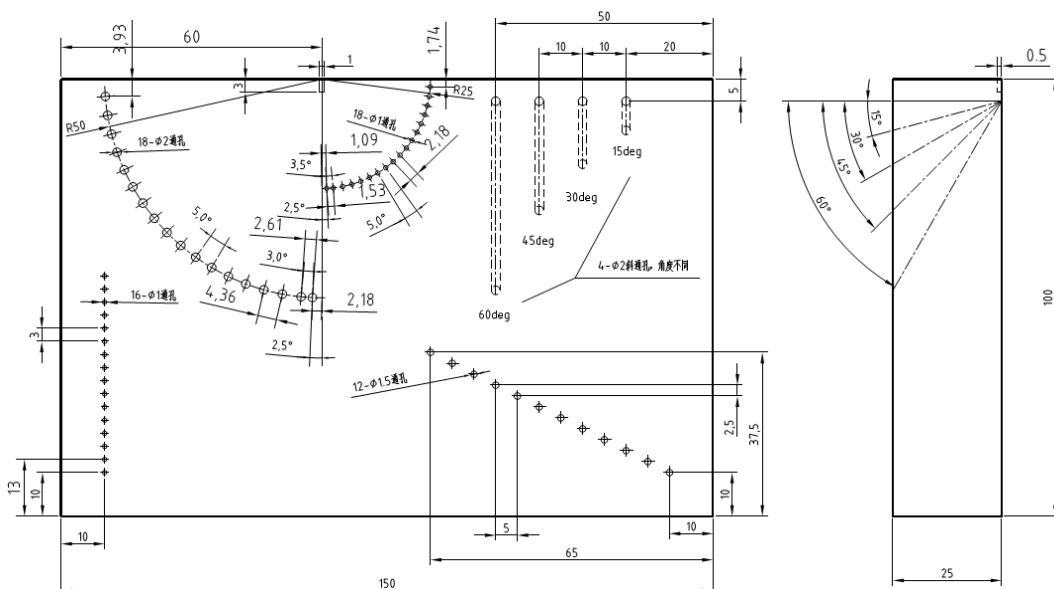


图 5 声束控制评定试块

##### 4.2.4.4 对比试块:

- a) 用于检测校准的试块, 其外形尺寸应能代表被检工件的特征, 厚度应与被检工件的厚度相对应。如果涉及两种或两种以上不同厚度部件焊接接头的检测, 试块的厚度应由其最大厚度来确定;
- b) 本标准可以采用 NB/T 47013.3-2015 标准中的 CSK- II A 系列及 GS 系列试块, 也可采用 PRB- I 、 PRB- II 、 PRB- III 、 PRB- IV 、 PRB- V 、 PGS 系列试块。PRB 系列试块见图 6~图 10。

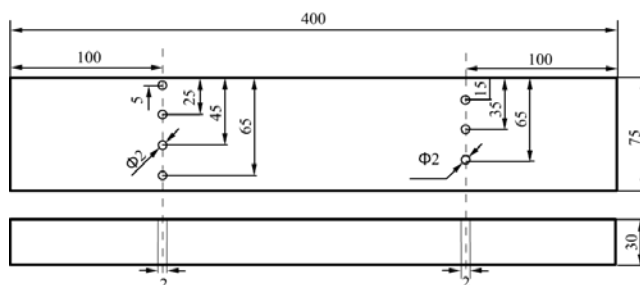


图 6 PRB-I 试块

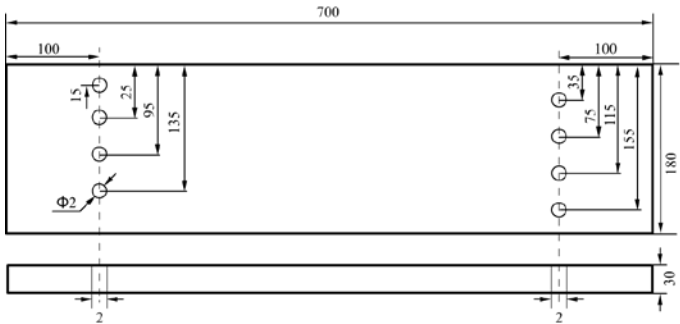


图 7 PRB-II 试块

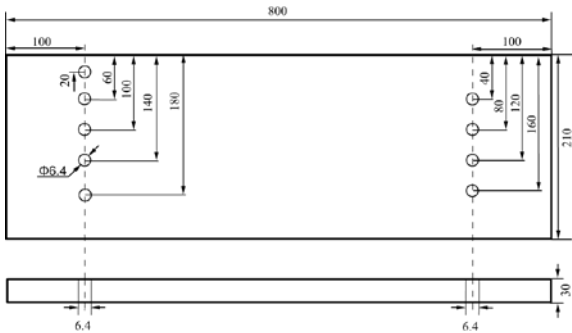


图 8 PRB-III 试块

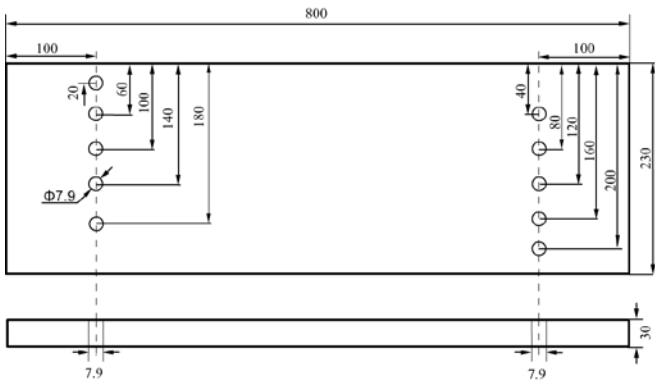
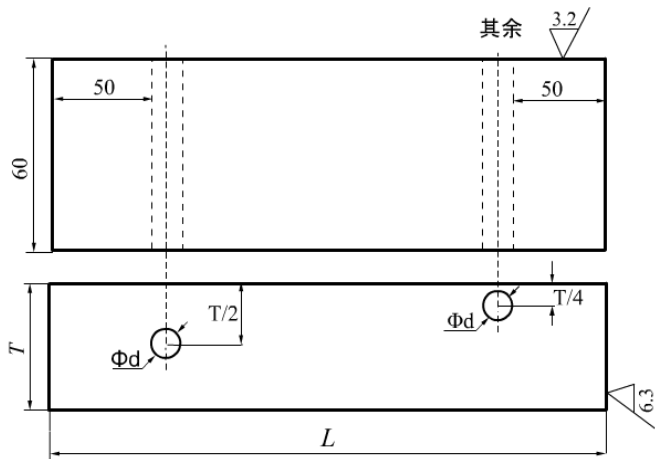


图 9 PRB-IV 试块



注：L——试块长度，由使用声程确定；d，T 见表 C.1。

图 10 PRB-V 试块

#### 4.2.4.5 模拟缺陷试块

用于检测工艺验证及相控阵超声横波端点衍射法测高技能验证的试块。应满足下列要求：

- a) 一般采用焊接方法制作。其缺陷类型为被检工件中易出现的典型焊接缺陷，主要为条状缺陷、裂纹、未熔合和未焊透；
- b) 试块中的缺陷位置应具有代表性，至少应包含外表面、内表面和内部；
- c) 试块中的缺陷长度和自身高度满足表 6 的规定，但缺陷长度的最小值为 10mm。

#### 4.2.5 耦合剂

- a) 应采用有效且适用于被检工件的介质作为超声耦合剂。要求具有良好的透声性、易清洗、无毒无害、有适宜的流动性的材料；对材料、人体及环境无损害，同时应便于检测后清理。典型的耦合剂包括水、甲基纤维素糊状物、洗涤剂、机油和甘油，在零度以下可采用乙醇液体或相近的液体；
- b) 实际检测采用的耦合剂应与检测系统设置和校准时的耦合剂相同；
- c) 选用的耦合剂应在工艺规程规定的温度范围内保证稳定可靠的检测。

#### 4.3 扫查方式

4.3.1 扫查方式分为锯齿形扫查和沿线扫查，一般应采用沿线扫查。

4.3.2 锯齿形扫查一般不采用编码器记录扫查位置，其行走方式与 NB/T 47013.3 中规定的锯齿形扫查一致。

4.3.3 沿线扫查一般采用编码器记录扫查位置，通常将相控阵探头安装在扫查装置中，沿焊缝长度方向直线移动。

#### 4.4 显示方式

相控阵超声设备是成像仪器，有按声程显示成像和按实际几何结构显示成像两种显示方式。根据使用的相控阵超声设备选择显示方式。

#### 4.5 扫描类型

分为线扫描和扇扫描，应根据具体检测情况选择。通常采用扇扫描，有时也采用线扫描或两者组合。

#### 4.6 灵敏度补偿

##### 4.6.1 耦合补偿

在检测和缺陷定量时，应对由表面粗糙度引起的耦合损失进行补偿。

##### 4.6.2 衰减补偿

在检测和缺陷定量时，应对材质衰减引起的检测灵敏度下降和缺陷定量误差进行补偿。

##### 4.6.3 曲面补偿

探测面是曲面的工件，应采用曲率半径与工件相同或相近的对比试块，通过对比试验进行曲率补偿。

#### 4.7 扫查灵敏度

不低于评定线灵敏度。

#### 4.8 聚焦法则

根据所采用的扫描类型确定，明确其中涉及的具体参数。

##### 4.8.1 相控阵探头参数

- a) 晶片参数：标称频率、晶片数量、晶片宽度、晶片间隙及晶片长度；
- b) 楔块参数：楔块尺寸、楔块角度及楔块声速。

##### 4.8.2 聚焦法则参数

- a) 晶片数量：设定聚焦法则使用的晶片数量；
- b) 晶片位置：设定激发晶片的起始位置；

- c) 角度参数：设定在工件中所用声束的固定角度、声束的角度范围；
- d) 距离参数：设定在工件中的声程或深度；
- e) 声速参数：设定在工件中的声速，例如横波声速、纵波声速；
- f) 工件厚度：设定被检工件的厚度；
- g) 探头位置：设定探头前端至焊缝中心线的距离；
- h) 采用聚焦声束检测时，应合理设定聚焦声程或深度。

#### 4.9 检测系统的复核

##### 4.9.1 复核时机

每次检测前应对灵敏度进行复核，遇到下述情况应随时对其进行重新核查：

- a) 检测过程中更换电池，校准后的探头、耦合剂和仪器调节旋钮发生改变；
- b) 检测人员怀疑扫描量程或扫描灵敏度有变化；
- c) 连续工作 4h 以上；
- d) 工作结束。

##### 4.9.2 扫查灵敏度的复核

每次检测结束前，应对扫查灵敏度进行复核。一般对 DAC 或 TCG 曲线的校核应不少于 3 点。如曲线上任何一点幅度下降 2dB 或 20%，则应对上一次复核以来所有的检测结果进行复检；如幅度上升 2dB 或 20%，则应对所有的记录信号进行重新评定。

##### 4.9.3 编码器的复核

检测时应定期对编码器进行复核。编码器的校准应符合相关章节的规定，否则应重新校准。

#### 4.10 与其他无损检测方法综合应用

4.10.1 对母材厚度为 12mm~400mm 的焊缝，也可采用 TOFD 方法测量缺陷自身高度。

4.10.2 对相控阵超声检测发现表面可疑的显示，可采用 NB/T 47013.4~47013.6 中有效方法辅助检测。

#### 4.11 温度

4.11.1 应确保在规定的温度范围内进行检测，检测系统设置和校准与实际检测温度之差应控制在  $\pm 15^{\circ}\text{C}$  之内；

4.11.2 采用常规探头和耦合剂时，被检件的表面温度应控制在  $0^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ；若温度超过  $50^{\circ}\text{C}$  或低于  $0^{\circ}\text{C}$ ，可采用特殊探头或耦合剂。

### 5 使用原则

#### 5.1 扫描类型

扇扫描、线扫描都具有各自的优点和局限性，为提高检测结果的准确性，应根据被检产品的焊缝类型、工作介质，预计可能产生的缺陷种类、形状、部位和取向，选择较合适的扫描类型和显示方式或者其组合。

#### 5.2 扫描类型及显示方式的选择

5.2.1 对接接头宜采用扇扫描检测。显示方式可选择按声程显示成像或按实际几何结构显示成像，见图 11 和图 12。

5.2.2 角接接头应采用扇扫描和线扫描组合检测。显示方式宜采用按实际几何结构显示成像，见图 13、图 14。

5.2.3 T 型接头应采用扇扫描和线扫描组合检测。显示方式宜采用按实际几何结构显示成像，见图 15~图 17。

5.2.4 根据被检工件的焊缝类型和产生缺陷的特点，也可辅以特定角度的扇扫描和线扫描及串列扫描检测。

5.2.5 锯齿形扫查应根据检测工件的特点及现场条件选择手动扇扫描、手动线扫描及手动固定

角度扫描。

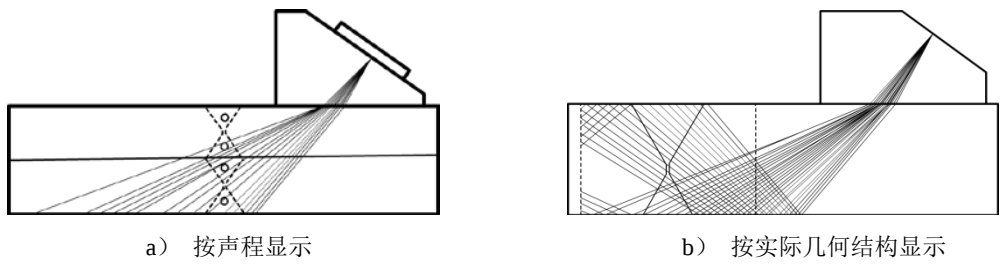


图 11 采用扇形扫描检测示意图

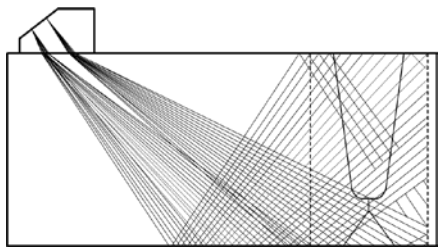


图 12 采用多组扇形扫描检测示意图

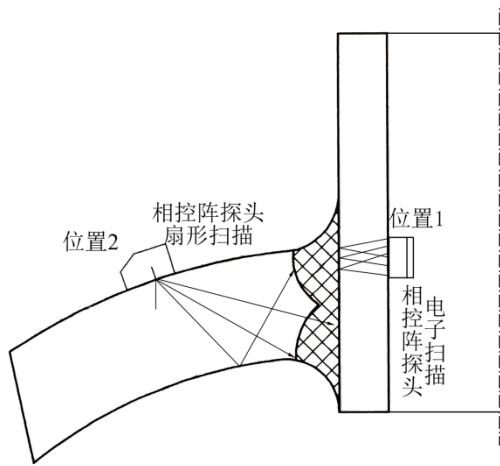


图 13 插入式管座角焊缝

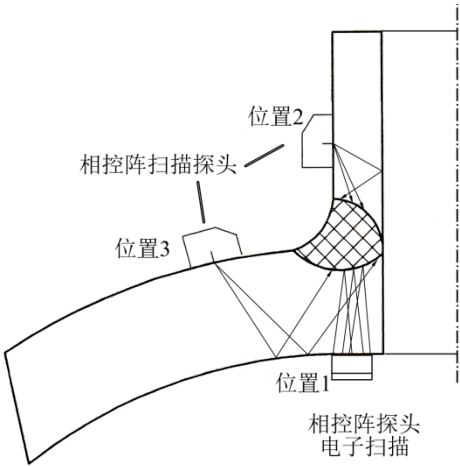


图 14 安放式管座角焊缝

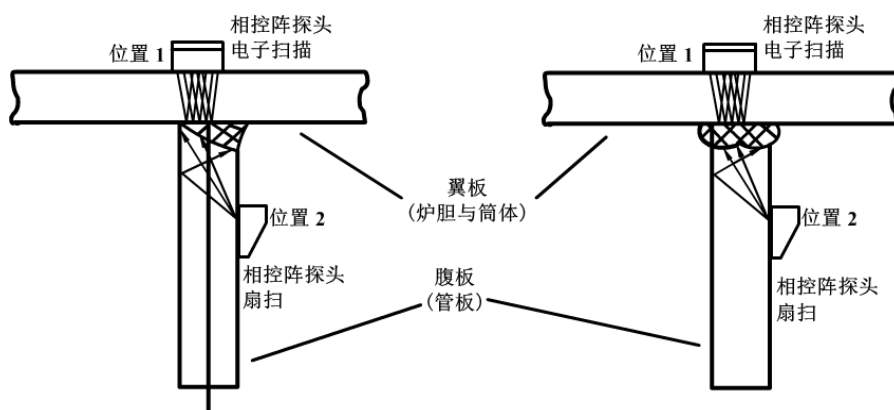


图 15 T 型接头 (型式 I)

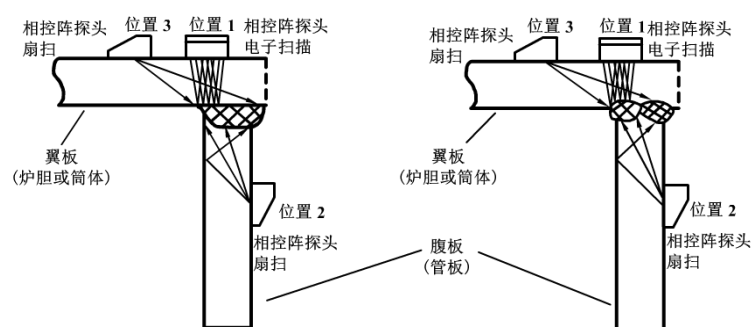


图 16 T 型接头 (型式 II)

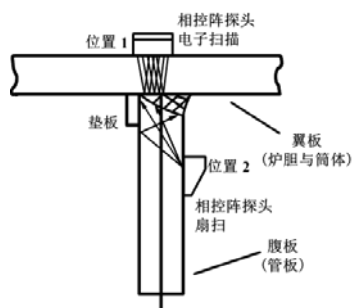


图 17 T 型接头 (型式 III)

## 6 钢制承压设备焊接接头相控阵超声检测和质量分级

### 6.1 适用范围

6.1.1 本章规定了铁素体钢制承压设备焊接接头的相控阵超声检测和质量分级。

6.1.2 本章适用于母材厚度为 6mm~200mm 的全熔化焊焊接接头的相控阵超声检测。

6.1.3 对母材厚度为 200mm (不含 200mm)~400mm 的全熔化焊焊接接头的相控阵超声检测参照附录 C 的规定进行；

### 6.2 检测技术等级

#### 6.2.1 检测技术等级的选择

相控阵超声检测技术等级分为 A、B、C 三个检测级别。相控阵超声检测技术等级选择应符合制造、安装、在用等有关规范、标准及设计图样规定。

#### 6.2.2 不同检测技术等级的要求

#### 6.2.2.1 A 级检测

- a) 适用于工件厚度为 6mm~40mm 焊接接头的检测;
- b) 检测时应保证相控阵声束对检测区域实现至少一次全覆盖;
- c) 一般从焊接接头单面双侧进行检测,如受条件限制,也可以选择双面单侧或单面单侧进行检测;
- d) 一般不需要进行横向缺陷检测。

#### 6.2.2.2 B 级检测

- a) 适用于工件厚度为 6mm~200mm 的焊接接头的检测;
- b) 检测时应保证相控阵声束对检测区域实现至少二次全覆盖;
- c) 当母材厚度为 6mm~40mm 时,一般从焊接接头单面双侧进行检测。如受条件限制,无法在单面双侧进行扫查时,可在单面单侧进行扫查,但应改变探头的前端距,增加一次扇扫描+沿线扫查或线扫描+沿线扫查或增加一次常规超声扫查。
- d) 当母材厚度为大于或等于 40mm 时,应从焊接接头双面双侧进行检测。对于要求进行双面双侧检测的焊接接头,如受几何条件限制而选择单面双侧检测时,应将焊接接头余高磨平,增加探头位置,扫查范围应覆盖到整个焊接接头。
- e) 对于对接接头,一般应进行横向缺陷检测。检测时,应在焊缝两侧边缘使探头与焊缝中心线成  $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$  作两个方向的纵向倾斜扫查。对余高磨平的焊缝,可将探头放在焊缝及热影响区上作两个方向的纵向平行扫查。
- f) 对于单侧坡口角度小于  $5^{\circ}$  的窄间隙焊缝,如有可能应增加检测与坡口表面平行缺陷的有效方法(如 TOFD)。

#### 6.2.2.3 C 级检测

- a) 适用于工件厚度为 6mm~400mm 的焊接接头的检测;
- b) 应保证相控阵声束对检测区域实现至少二次全覆盖;
- c) 采用 C 级检测时应将对接接头的余高磨平。对焊接接头斜探头扫查经过的母材区域要用直探头(或相控阵探头)进行检测;
- d) 当母材厚度为 6mm~15mm 时,一般从焊接接头单面双侧进行检测。如受条件限制,无法在单面双侧进行扫查时,可在单面单侧进行扫查,但应改变探头的前端距,增加一次扇扫描+沿线扫查或线扫描+沿线扫查或增加一次常规超声扫查。
- e) 当母材厚度为大于或等于 15mm 时,应从焊接接头双面双侧进行检测。对于要求进行双面双侧检测的焊接接头,如受几何条件限制而选择单面双侧或双面单侧检测时,应将焊接接头余高磨平,增加探头位置,扫查范围应覆盖到整个焊接接头。
- f) 壁厚大于或等于 40mm 的对接焊接接头,还应增加相控阵纵波  $0^{\circ}$  直入射检测。
- g) 对于对接接头,应进行横向缺陷的检测。检测时,将相控阵探头放在焊缝及热影响区上作两个方向的纵向平行扫查。
- h) 对于单侧坡口角度小于  $5^{\circ}$  的窄间隙焊缝,如有可能应增加检测与坡口表面平行缺陷的有效方法(如 TOFD)。

6.2.2.4 当要求对检测区域进行两次或两次以上全覆盖时,应尽可能使至少其中两次覆盖的声束来自大致相互垂直的两个方向。

### 6.3 试块

6.3.1 试块制作应符合 4.2.4 的规定。

6.3.2 标准试块为 CSK- I A 试块和声束控制评定试块。

6.3.3 对比试块可采用 NB/T 47013.3-2015 中 CSK- II A 系列试块,也可采用 PRB- I 、PRB- II 、PRB- III 和 PRB- IV,适用范围见表 1。

表 1 PRB 系列试块及其使用范围

单位为 mm

| 试 块                                                                                                                  | 对应的焊接接头的厚度范围 | 试 块     | 对应的焊接接头的厚度范围 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------|--------------|
| PRB-I                                                                                                                | 6 ~ 30       | PRB-III | 120 ~ 150    |
| PRB-II                                                                                                               | 30 ~ 120     | PRB-IV  | 150 ~ 200    |
| 注：检测曲面工件时，如检测面曲率半径 $R \leq W^2/4$ （ $W$ 为探头接触面宽度，环焊缝检测时为探头宽度，纵焊缝检测时为探头长度），应采用与检测面曲率相同的对比试块，反射孔的位置及试块的宽度可参照PRB-V试块确定。 |              |         |              |

## 6.4 检测准备

### 6.4.1 检测区域

检测区域高度为工件厚度；检测区域宽度为焊缝本身加上焊缝两侧各相当于母材厚度 30% 的一段区域，该区域最小为 5mm，最大为 10mm，见图 18。

### 6.4.2 表面制备

6.4.2.1 探头移动区内应清除焊接飞溅、铁屑、油垢及其他杂质，一般应进行打磨。检测面应平整，便于探头的移动，机加工表面粗糙度  $Ra$  值不大于  $12.5\mu m$ 。

6.4.2.2 去除余高的焊缝，应将余高打磨到与邻近母材平齐。保留余高的焊缝，如果焊缝表面有咬边、较大的隆起和凹陷等也应进行适当的修磨，并作圆滑过渡以免影响检测结果的评定。

### 6.4.3 焊缝标识

检测前应在工件扫查面上予以标记，标记内容至少包括扫查起始点和扫查方向，起始标记应用“0”表示，扫查方向用箭头表示。所有标记应对扫查无影响。

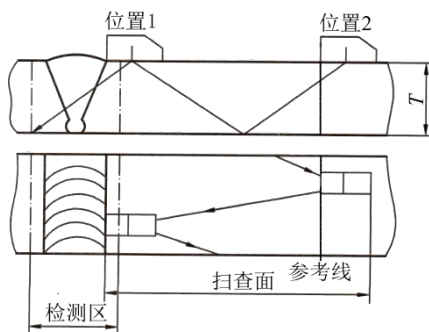


图 18 参考线及探头移动区域

### 6.4.4 参考线

6.4.4.1 参考线用于规定锯齿形扫查时探头移动的区域（见图 18），或用于沿线扫查时沿步进方向行走的直线。

6.4.4.2 检测前，应在扫查面上画参考线，参考线在检测区一侧距焊缝中心线的距离根据检测设置而定。参考线距焊缝中心线距离的误差为  $\pm 0.5mm$ 。

### 6.4.5 耦合剂

耦合剂应按 4.2.5 的规定进行。

## 6.5 检测系统的调试

### 6.5.1 相控阵探头的选择

6.5.1.1 标称频率一般为  $4MHz \sim 10MHz$ 。

6.5.1.2 晶片数要根据检测工件厚度选择，单次激发的晶片数不得低于 16。电子扫描进行纵波检测时，单次激发晶片数不得低于 4。与工件厚度有关的相控阵探头参数选择可参考表 2。

6.5.1.3 相控阵探头应与检测面紧密接触。检测面曲率半径  $R \leq W^2/4$  时，应采用曲面楔块，使其与检测面吻合。

表 2 检测焊接接头时相控阵探头参数选择推荐表

| 工件厚度/mm                                                                                                   | 主动孔径/mm  | 标称频率/MHz | 工件厚度/mm    | 主动孔径/mm | 标称频率/MHz |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|------------|---------|----------|
| 6 ~ 15                                                                                                    | 6.0 ~ 10 | 7.5 ~ 10 | >70 ~ 120  | 15 ~ 23 | 4 ~ 5    |
| >15 ~ 70                                                                                                  | 7.0 ~ 15 | 4 ~ 7.5  | >120 ~ 200 | 15 ~ 23 | 4 ~ 5    |
| 注 1: 在满足能穿透的情况下, 尽可能选择主动孔径小的探头。<br>注 2: 为了提高图像质量, 电子扫描在满足穿透的情况下, 应选择主动孔径小的探头。<br>注 3: 晶片长度 $w$ 应大于等于 6mm。 |          |          |            |         |          |

### 6.5.2 聚焦法则参数

根据检测对象和现场条件选择扫描类型确定聚焦法则。聚焦法则参数的内容应满足 4.8 的规定。

### 6.5.3 检测区域覆盖

根据聚焦法则的参数, 用相控阵超声检测设备中的理论模拟软件进行演示, 调整探头位置, 使所选用的检测声束完全覆盖检测区域, 此时的距离就是固定探头的位置, 也是参考线的位置。若不能完全覆盖或参数选择不当, 应重新选择聚焦法则参数。确认演示结果后, 将演示模拟图及参数保存, 并附在检测工艺中。

### 6.5.4 DAC 或 TCG 曲线的制作

6.5.4.1 应按所用的相控阵检测仪和相控阵探头在选用的对比试块上制作。

6.5.4.2 检测面曲率半径  $R \leq W^2/4$  时, 灵敏度曲线的制作应在与检测面曲率相同的对比试块上进行。

6.5.4.3 在整个检测范围内, 灵敏度曲线不得低于荧光屏满刻度的 20%。

6.5.4.4 制作灵敏度曲线的过程中, 应控制噪声信号, 信噪比应大于等于 10dB。

### 6.5.5 角度增益补偿

角度增益补偿的调试应在对比试块或 CSK- I A 试块上进行。

### 6.5.6 DAC 或 TCG 曲线灵敏度选择

6.5.6.1 DAC 或 TCG 曲线灵敏度应符合表 3 的规定。

表 3 DAC 或 TCG 曲线灵敏度

| 工件厚度/mm    | 评 定 线                    | 定 量 线                    | 判 废 线                   |
|------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 6 ~ 40     | $\phi 2 \times 30$ -18dB | $\phi 2 \times 30$ -12dB | $\phi 2 \times 30$ -4dB |
| >40 ~ 100  | $\phi 2 \times 30$ -14dB | $\phi 2 \times 30$ -8dB  | $\phi 2 \times 30$ +2dB |
| >100 ~ 200 | $\phi 2 \times 30$ -10dB | $\phi 2 \times 30$ -4dB  | $\phi 2 \times 30$ +6dB |

6.5.6.2 检测横向缺陷时, 应将各线灵敏度均提高 6dB。

6.5.6.3 工件表面耦合损失和材质衰减应与试块相同, 否则应作声能传输损失差的测定, 并根据实测结果对检测灵敏度进行补偿, 补偿量应计入 DAC 或 TCG 曲线。在一跨距声程内最大传输损失差小于或等于 2dB 时可不进行补偿。

### 6.5.7 相控阵探头配置

锯齿形扫查应选择单探头配置, 沿线扫查可选择单探头配置或双探头配置。应根据检测设备选择探头配置。

### 6.5.8 覆盖范围

6.5.8.1 扇形扫描所使用声束角度增量最大值为  $1^\circ$  或能保证相邻声束重叠至少为 50%。

6.5.8.2 电子扫描相邻激活孔径之间的重叠, 应至少为有效孔径长度的 50%。

6.5.8.3 沿线扫查时, 若在焊缝长度方向进行分段扫查, 则各段扫查区的重叠范围至少为 50mm。对于环焊缝, 扫查停止位置应越过起始位置至少 50mm。需要多个沿线扫查覆盖整个焊接接头体积时, 各扫查之间的重叠至少为所用电子扫描有效孔径长度或扇形扫描声束宽度的 10%。

6.5.8.4 锯齿形扫查时，为确保检测声束能扫查到整个被检区域，相邻两次探头移动间隔应不超过晶片长度（ $w$ ）的 50%。

6.5.9 扫查步进值的设置

扫查步进是指扫查过程中相邻两个 A 扫描信号间沿扫查方向的空间间隔。检测前应将检测系统设置为根据扫查步进采集信号。扫查步进值主要与工件厚度有关，按表 4 的规定进行设置。

表 4 扫查步进值的设置

| 工件厚度 $t/\text{mm}$ | 扫查步进最大值 $\Delta x_{\max}/\text{mm}$ |
|--------------------|-------------------------------------|
| $t \leq 10$        | 1.0                                 |
| $10 < t \leq 150$  | 2.0                                 |
| $t > 150$          | 3.0                                 |

6.5.10 编码器的校准

6.5.10.1 首次使用前或每隔一个月应对编码器进行校准。

6.5.10.2 校准方式是将编码器移动至少 300mm，比较检测设备显示的位移与实际位移，要求误差应小于 1%或 10mm，以较小值为准。

6.5.11 耦合监控的设置

扫查过程中应保持稳定的耦合，必要时应对耦合情况进行有效监控，耦合监控的设置应根据使用的相控阵超声设备而定，当发现耦合不良时，应对该区域重新进行扫查。

6.5.12 温度

温度的控制应符合 4.12 的规定。

6.6 检测方法

6.6.1 平板对接接头的检测

平板对接接头的检测宜采用沿线扫查，沿线扫查不可行时采用锯齿形扫查。检测原则满足 5.2.1 和 6.2 的规定。

6.6.2 曲面工件（直径小于等于 500mm）对接接头的检测

6.6.2.1 检测面为曲面时，可尽量按平板对接接头的检测方法进行检测。受几何形状限制，无法进行检测的部位应予以记录。

6.6.2.2 纵缝检测时，对比试块的曲率半径与检测面曲率半径之差小于 10%：

- a) 根据工件的曲率和厚度选择扇形扫查角度范围，确保声束能扫查到整个焊接接头；
- b) 应进行缺陷定位的修正。

6.6.2.3 环焊缝检测时，对比试块的曲率半径应为检测面曲率半径的 0.9 倍~1.5 倍。

6.6.3 管座角焊缝的检测

6.6.3.1 基本原则

选择扫查面和扫描类型时应考虑到各类型缺陷的可能性，并使声束尽可能垂直于该焊接接头结构的主要缺陷。检测原则满足 5.2.2 和 6.2 的规定。

6.6.3.2 检测方式

根据结构形式，管座角焊缝的检测有如下 4 种方式，可选择其中一种或几种方式组合实施检测。检测方式的选择应由合同双方商定，并考虑主要检测对象和几何条件的限制：

- a) 在接管内壁采用电子扫描，见图 13 位置 1；
- b) 在容器内壁采用电子扫描，见图 14 位置 1；
- c) 在接管外壁采用扇形扫描，见图 14 位置 2；
- d) 在容器外壁采用扇形扫描，见图 13 位置 2 和图 14 位置 3。

6.6.3.3 管座角焊缝以电子扫描（纵波）检测为主，必要时应增加横波检测的内容：

- a) 相控阵探头的选择按 6.5.1 的规定执行；

- b) 采用扇形扫描时, DAC 或 TCG 曲线灵敏度按表 3 的规定;
- c) 采用电子扫描(纵波)检测时, DAC 或 TCG 曲线灵敏度按表 3 的规定;
- d) 扫查灵敏度一般在基准灵敏度基础上提高 6dB。

#### 6.6.3.4 扫查方式

首先采用沿线扫查, 沿线扫查不可行时采用锯齿形扫查。

#### 6.6.4 T 型接头的检测

##### 6.6.4.1 适用范围

本条适用于厚度为 6mm~50mm 的锅炉、压力容器全熔化焊 T 型接头的相控阵超声检测。其他用途的全熔化焊 T 型焊接接头的相控阵超声检测也可参照本条的规定执行。

##### 6.6.4.2 基本原则

在选择扫查面和扫描类型时应考虑到各类型缺陷的可能性, 并使声束尽可能垂直于该类焊接接头结构的主要缺陷。检测原则满足 5.2.3 和 6.2 的规定。

##### 6.6.4.3 检测方式

- a) 从翼板外侧用电子扫描进行检测, 见图 15 位置 1、图 16 位置 1 和图 17 位置 1;
- b) 用扇形扫描在腹板一侧用直射法和一次反射法进行检测, 见图 15 位置 2、图 16 位置 2 和图 17 位置 2;
- c) 用扇形扫描从翼板外侧采用直射法进行检测, 见图 16 位置 3。

##### 6.6.4.4 T 型接头采用扇形扫描和电子扫描(纵波)进行检测

- a) 相控阵探头的选择按 6.5.1 的规定执行;
- b) 扇形扫描时, DAC 或 TCG 曲线灵敏度应以腹板厚度按表 3 确定; 电子扫描检测时, DAC 或 TCG 曲线灵敏度应以翼板厚度按表 3 确定;
- c) 扫查灵敏度一般在基准灵敏度基础上提高 6dB。

##### 6.6.4.5 扫查方式

首先采用沿线扫查, 沿线扫查不可行时采用锯齿形扫查。

##### 6.6.4.6 对缺陷进行等级评定时, 均以腹板厚度为准。

#### 6.7 现场检测

##### 6.7.1 表面制备

受检工件的表面制备符合 6.4.2 的规定, 检查合格后方可进行检测。

##### 6.7.2 焊缝标识

焊缝标识应按 6.4.3 的规定进行。

##### 6.7.3 参考线

参考线应按 6.4.4 的规定进行。

##### 6.7.4 耦合剂

耦合剂应按 4.2.5 的规定进行。

##### 6.7.5 扫查灵敏度

扫查灵敏度应满足 6.5.6 的规定。

##### 6.7.6 扫查方式

根据具体的检测对象和现场条件选择。首先选用沿线扫查, 沿线扫查不可行时采用锯齿形扫查。

##### 6.7.7 扫查速度

###### 6.7.7.1 锯齿形扫查时, 探头移动速度不应超过 150mm/s。

###### 6.7.7.2 采用沿线扫查时应保证扫查速度小于或等于最大扫查速度 $v_{\max}$ , 同时应保证耦合效果和数据采集的要求。最大扫查速度按式(2)计算:

$$v_{\max} = \frac{\text{PRF}}{n \times n_a \times 2n_b} X \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$v_{\max}$ ——最大扫查速度，mm/s；

PRF——脉冲重复频率，Hz； $\text{PRF} < 2 n_b C/L$ ；

$n_b$ ——采用几次波检测；

$C$ ——声速，m/s；

$L$ ——最大检测声程，mm；

$n$ ——设置的信号平均次数；

$n_a$ ——电子扫描为聚焦法则的个数，扇形扫描为角度个数；

$X$ ——设置的扫查增量，mm。

## 6.8 扫查图像显示

6.8.1 扫查数据以图像形式显示，可用 S 扫描、B 扫描、C 扫描、E 扫描及 P 扫描等形式，也可增加 TOFD 显示。

6.8.2 在扫查数据的图像中应有编码器扫查位置显示和耦合监控显示。锯齿形扫查可没有编码器扫查位置显示。

## 6.9 检测数据的评价和显示的分类

### 6.9.1 有效性评价

6.9.1.1 分析数据前应对所采集的数据进行评估以确定其有效性，至少应满足如下要求：

a) 检测时耦合监控必须开启；

b) 数据丢失量不得超过整个扫查长度的 5%，且不允许相邻数据连续丢失。

6.9.1.2 若数据无效，应纠正后重新进行扫查。

### 6.9.2 显示的分类

6.9.2.1 检测结果的显示分为相关显示和非相关显示。

6.9.2.2 分析检测数据是否存在相关显示，对于相关显示应按 6.11 进行评定。

## 6.10 缺陷定量

### 6.10.1 缺陷定量基准

缺陷定量以评定线为基准，对回波波幅达到或超过评定线的缺陷，应确定其位置、波幅和指示长度、高度（若需要）等，如有需要，可采用各种聚焦方法提高定量精度。

### 6.10.2 缺陷位置

以获得缺陷的最大反射波幅的位置为缺陷位置。

### 6.10.3 缺陷长度

按 A 扫和缺陷图像测定缺陷指示长度。当缺陷反射波只有一个高点，且位于 II 区或 II 区以上时，用 -6dB 法测量其指示长度。当缺陷反射波峰值起伏变化，有多个高点，且均位于 II 区或 II 区以上时，应以端点 -6dB 法测量其指示长度。当缺陷最大反射波幅位于 I 区，将探头左右移动，使波幅降到评定线，以用评定线绝对灵敏度法测量缺陷指示长度。

### 6.10.4 缺陷自身高度

6.10.4.1 对于面状缺陷，在深度方向，尺寸范围大于声束宽度的，可在 S 扫描或 B 扫描视图上采用 -6dB 半波高度法或端点衍射法测量缺陷自身高度，尺寸范围小于声束宽度的，采用当量法及其他有效方法，横波端点衍射法见附录 D。

6.10.4.2 对满足 NB/T 47013.10 检测要求的承压设备焊接接头，也可采用其他无损检测方法（如 TOFD 等）进行缺陷自身高度测量。

6.10.5 相邻两个或多个缺陷显示（非圆形），其在 X 轴方向间距小于其中较小的缺陷长度且在 Z 轴方向间距小于其中较小的缺陷自身高度时，应作为一个缺陷处理，该缺陷深度、缺陷长度及缺陷自身高度按如下原则确定：

- a) 缺陷深度：以两缺陷深度较小值作为单个缺陷深度；
- b) 缺陷长度：两缺陷在 X 轴投影上的前、后端点间距离；
- c) 缺陷自身高度：若两缺陷在 X 轴投影无重叠，以其中较大的缺陷自身高度作为单个缺陷自身高度；若两缺陷在 X 轴投影有重叠，则以两缺陷自身高度之和作为单个缺陷自身高度（间距计入）。

### 6.11 缺陷的评定和质量分级

6.11.1 凡判定为裂纹、坡口未熔合及未焊透等危害性的缺陷显示，评为Ⅲ级。

6.11.2 凡在判废线（含判废线）以上的缺陷显示，评为Ⅲ级。

6.11.3 凡在评定线（不含评定线）以下的缺陷显示，评为Ⅰ级。

6.11.4.1 承压设备本体焊接接头质量分级方法一（适用于制造安装阶段）

- a) 缺陷长度按实测值计；
- b) 质量分级按表 5 的规定进行。

6.11.4.2 承压设备本体焊接接头质量分级方法二（适用于在用阶段）

- a) 圆形缺陷的评定按 6.11.4.1 的规定进行；
- b) 条形缺陷的评级按表 6 的规定进行。

表 5 承压设备焊接接头质量分级方法一 单位为 mm

| 等级                                                                                                       | 工件厚度              | 反射波幅<br>所在区域 | 允许的单个缺陷指示长度                   | 多个缺陷累计长度<br>最大允许值/ $L'$                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|
| I                                                                                                        | $\geq 6 \sim 100$ | I            | $\leq 50$                     | —                                             |
|                                                                                                          | $> 100$           |              | $\leq 75$                     | —                                             |
|                                                                                                          | $\geq 6 \sim 100$ | II           | $\leq t/3$ ，最小可为 10，最大不超过 30  | 在任意 $9t$ 焊缝长度范围内<br>$L'$ 不超过 $t$ 且最大不超过 150   |
|                                                                                                          | $> 100$           |              | $\leq t/3$ ，最大不超过 50          |                                               |
| II                                                                                                       | $\geq 6 \sim 100$ | I            | $\leq 60$                     | —                                             |
|                                                                                                          | $> 100$           |              | $\leq 90$                     | —                                             |
|                                                                                                          | $\geq 6 \sim 100$ | II           | $\leq 2t/3$ ，最小可为 12，最大不超过 40 | 在任意 $4.5t$ 焊缝长度范围内<br>$L'$ 不超过 $t$ 且最大不超过 200 |
|                                                                                                          | $> 100$           |              | $\leq 2t/3$ ，最大不超过 75         |                                               |
| III                                                                                                      | $\geq 6$          | II           | 超过 II 级者                      |                                               |
|                                                                                                          |                   | III          | 所有缺陷（任何缺陷指示长度）                |                                               |
|                                                                                                          |                   | I            | 超过 II 级者                      | —                                             |
| 注 1：当焊缝长度不足 $9t$ （I 级）或 $4.5t$ （II 级）时，可按比例折算。当折算后的多个缺陷累计长度允许值小于该级别允许的单个缺陷指示长度时，以允许的单个缺陷指示长度作为缺陷累计长度允许值。 |                   |              |                               |                                               |
| 注 2：用 6.10 规定的测量方法，使声束垂直于缺陷的主要方向左右移动探头测得的缺陷长度。                                                           |                   |              |                               |                                               |

表 6 焊接接头质量分级方法二

单位为 mm

| 质量等级              | 工件厚度 mm   | 单 个 缺 陷                 |                       |                                                |                         |                      |                                                | 多 个 缺 陷                                                                                                                                                                                |
|-------------------|-----------|-------------------------|-----------------------|------------------------------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   |           | 表面缺陷                    |                       |                                                | 埋藏缺陷                    |                      |                                                |                                                                                                                                                                                        |
|                   |           | 长 度<br>l <sub>max</sub> | 高 度<br>h <sub>3</sub> | 若 l > l <sub>max</sub> 缺陷<br>高度 h <sub>1</sub> | 长 度<br>l <sub>max</sub> | 高度<br>h <sub>2</sub> | 若 l > l <sub>max</sub> 缺陷<br>高度 h <sub>1</sub> |                                                                                                                                                                                        |
| I                 | 6≤t≤8     | t                       | 1.0                   | —                                              | t                       | 1.5                  | 1.0                                            | 1)若多个缺陷其各自高度 h 均为：<br>h <sub>1</sub> <h≤h <sub>2</sub> 或 h <sub>3</sub> ，则在任意 12t<br>范围内累计长度不得超过 2t 且最大<br>值为 150mm；<br>2) 对于单个或多个允许的缺陷，其最大<br>累计长度不得大于整条<br>焊缝长度的 5%且最长不得超过<br>200mm  |
|                   | 8<t≤15    | 8                       | 2.0                   | 1.0                                            | 8                       | 2.0                  | 1.0                                            |                                                                                                                                                                                        |
|                   | 15<t≤40   | 15                      | 2.5                   | 1.5                                            | 15                      | 2.5                  | 1.5                                            |                                                                                                                                                                                        |
|                   | 40<t≤60   | 25                      | 3                     | 2.0                                            | 25                      | 3.0                  | 2.0                                            |                                                                                                                                                                                        |
|                   | 60<t≤100  | 35                      | 3.5                   | 2.0                                            | 35                      | 4.0                  | 2.5                                            |                                                                                                                                                                                        |
|                   | 100<t≤200 | 45                      | 3.5                   | 2.5                                            | 45                      | 5.0                  | 3.0                                            |                                                                                                                                                                                        |
|                   | t>100     | 45                      | 3.5                   | 2.5                                            | 45                      | 5.0                  | 3.0                                            |                                                                                                                                                                                        |
| II                | 6≤t≤8     | t                       | 1.5                   | 1.0                                            | t                       | 1.5                  | 1.0                                            | 1)若多个缺陷其各自高度 h 均为：<br>h <sub>1</sub> <h≤h <sub>2</sub> 或 h <sub>3</sub> ，则在任意 12t<br>范围内累计长度不得超过 3t 且最大<br>值为 200mm；<br>2) 对于单个或多个允许的缺陷，其最大<br>累计长度不得大于整条<br>焊缝长度的 10%且最长不得超过<br>300mm |
|                   | 8<t≤15    | t                       | 2.0                   | 1.0                                            | t                       | 2.0                  | 1.5                                            |                                                                                                                                                                                        |
|                   | 15<t≤40   | t                       | 2.5                   | 1.5                                            | t                       | 3.0                  | 2.0                                            |                                                                                                                                                                                        |
|                   | 40<t≤60   | 40                      | 2.5                   | 1.5                                            | 40                      | 4.0                  | 2.5                                            |                                                                                                                                                                                        |
|                   | 60<t≤100  | 50                      | 3.0                   | 2.0                                            | 60                      | 5.0                  | 3.0                                            |                                                                                                                                                                                        |
|                   | 100<t≤200 | 60                      | 3.0                   | 2.0                                            | 80                      | 6.0                  | 3.5                                            |                                                                                                                                                                                        |
|                   | t>200     | 80                      | 3.5                   | 2.5                                            | 100                     | 6.0                  | 3.5                                            |                                                                                                                                                                                        |
| III               | 6~400     | 超过 II 级者                |                       |                                                |                         |                      |                                                |                                                                                                                                                                                        |
| 注：母材壁厚不同时，取薄侧厚度值。 |           |                         |                       |                                                |                         |                      |                                                |                                                                                                                                                                                        |

## 7 钢制承压设备管子和压力管道环向对接接头相控阵超声检测和质量分级

### 7.1 适用范围

7.1.1 钢制承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头的相控阵超声检测不划分检测技术等级。

7.1.2 本章适用于壁厚为 3.2mm~6mm（不含 6mm）、外径大于或等于 32mm 或壁厚大于等于 6mm、外径为 32mm~159mm 的铁素体钢制承压设备管子和压力管道环向对接接头的相控阵超声检测方法和质量分级。

7.1.3 壁厚大于 6mm，且外径大于 159mm 的铁素体钢制承压设备接管和压力管道环向对接焊接接头的相控阵超声检测方法和质量分级按第 6 章执行。

### 7.2 对比试块

7.2.1 对比试块制作符合 4.2.4 的规定。

7.2.2 对比试块的曲率应与被检管径相同或相近，当管外径在 32mm~159mm 范围内时，其曲率半径之差不应大于被检管径的 10%；当管外径大于 159mm 时，对比试块的曲率半径应为检测面曲率半径的 0.9 倍~1.5 倍。

7.2.3 对比试块可采用 PGS 系列试块，其型号、形状和尺寸应分别符合图 19 和表 7 的规定。也可采用 NB/T 47013.3 所述的 GS 系列试块，其适用范围和使用原则按 NB/T 47013.3 的规定执行。

7.2.4 在满足灵敏度要求时，试块上的人工反射体根据检测需要可采取其他布置形式或添加，也

可采用其他型式的等效试块。

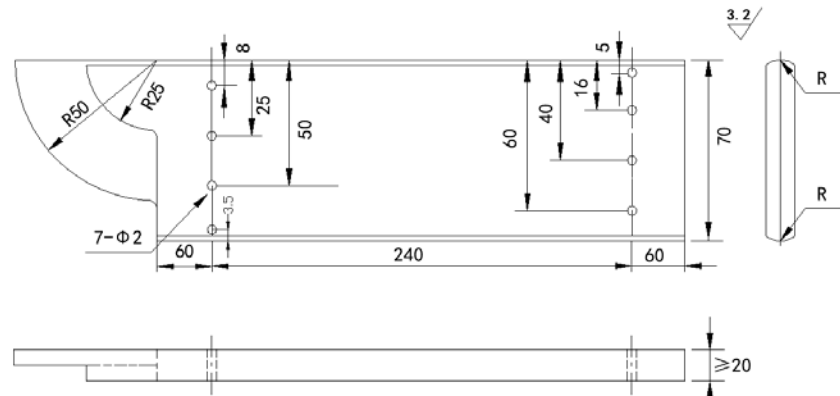


图 19 PGS 试块形状和尺寸

表 7 试块圆弧曲率半径

| 试块型号  | 试块圆弧曲率半径 $R$ | 适用管外径范围   |
|-------|--------------|-----------|
| PGS-1 | 18           | 32 ~ 40   |
| PGS-2 | 22           | 40 ~ 48   |
| PGS-3 | 26           | 48 ~ 57   |
| PGS-4 | 32           | 57 ~ 72   |
| PGS-5 | 40           | 72 ~ 90   |
| PGS-6 | 50           | 90 ~ 110  |
| PGS-7 | 60           | 110 ~ 132 |
| PGS-8 | 72           | 132 ~ 159 |

注：当工件厚度大于 30mm 时，可按图 15 样式制作对比试块或采用其他型式的等效试块。

7.3 检测准备

检测准备符合 6.4 的规定。

7.4 检测系统的调试

7.4.1 相控阵探头的选择

7.4.1.1 一次激发的晶片数不得低于 16 个晶片。

7.4.1.2 与工件厚度有关的相控阵探头参数选择可参考表 8。

7.4.1.3 楔块的曲率应与被检管件的形状相吻合，见图 20。楔块边缘与被检工件接触面的间隙  $x$  大于 0.5mm 时，应采用曲面楔块。

表 8 检测焊接接头时相控阵探头参数选择推荐表

| 管壁厚度/mm | 主动孔径/mm | 标称频率/MHz |
|---------|---------|----------|
| 3.2~15  | 6~10    | 7.5~10   |
| >15     | 7~15    | 4~7.5    |

注 1：在满足能穿透的情况下，尽可能选择主动孔径小的探头。  
注 2：为了提高图像质量，电子扫描在满足穿透的情况下，应选择主动孔径小的探头。  
注 3：晶片长度  $w$  应大于等于 6mm。

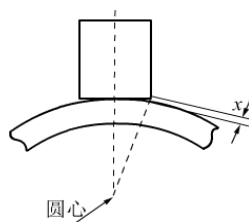


图 20 探头楔块边缘与管子外表面间隙的示意图

#### 7.4.2 扫查及扫描要求

7.4.2.1 管壁厚度为 3.2mm~7mm（不含 7mm）的对接接头，可采用大角度一次波和二次波同时设置的扇扫描+沿线扫查进行检测，也可采用三次波、二次波或四次波分开设的扇扫描+沿线扫查进行检测。

7.4.2.2 管壁厚度大于等于 7mm 的对接接头应采用扇扫描+沿线扫查进行检测。

7.4.2.3 扫查时应在焊接接头的单面双侧进行。由于结构原因，无法在单面双侧进行扫查时，可改变探头的前端距，增加一次扇扫描+沿线扫查或线扫描+沿线扫查或增加一次常规超声扫查。

#### 7.4.3 选择聚焦法则参数

聚焦法则参数的内容满足 4.8 的规定。

#### 7.4.4 检测区域覆盖

检测区域覆盖符合 6.5.3 的规定。

#### 7.4.5 DAC 或 TCG 曲线的制作

在 PGS 系列对比试块上制作 DAC 或 TCG 曲线。

#### 7.4.6 角度增益补偿

7.4.6.1 当采用扇扫描时，为避免角度灵敏度差异，在相应的 PGS 系列试块上进行 ACG 修正。

7.4.6.2 若检测设置需要，扇形扫描可选择楔块衰减补偿的调试，楔块衰减补偿的调试采用 PGS 试块上的 R50 圆弧进行。

#### 7.4.7 DAC 或 TCG 曲线的灵敏度选择

7.4.7.1 不同管壁厚度的 DAC 或 TCG 曲线灵敏度的选择应符合表 9 的规定。

表 9 DAC 或 TCG 曲线的灵敏度

| 管壁厚度/mm  | 评 定 线                | 定 量 线                | 判 废 线               |
|----------|----------------------|----------------------|---------------------|
| 3.2 ~ 6  | $\phi 2-14\text{dB}$ |                      | $\phi 2-8\text{dB}$ |
| $\geq 6$ | $\phi 2-16\text{dB}$ | $\phi 2-10\text{dB}$ | $\phi 2-4\text{dB}$ |

7.4.7.2 检测时应测定声能传输损失差，并根据实测结果对检测灵敏度作补偿，补偿量应计入 DAC 或 TCG 曲线。

#### 7.4.8 相控阵探头配置

相控阵探头配置应符合 6.5.7 的规定。

#### 7.4.9 扫查覆盖

扫查覆盖应符合 6.5.8 的规定。

#### 7.4.10 扫查步进设置

扫查步进的设置应符合 6.5.9 的规定。

#### 7.4.11 编码器的校准

检测前应对位置传感器进行校准和记录，校准方式是使带位置传感器的扫查装置至少移动 100mm 或焊接接头 1 个整圈，将检测设备所显示的位移和实际位移进行比较，其误差应小于 1%。

#### 7.4.12 耦合监控的设置

耦合监控的设置应符合 6.5.11 的规定。

#### 7.4.13 温度

温度的控制应符合 4.12 的规定。

#### 7.5 现场检测

现场检测应符合 6.7 的规定，但扫查灵敏度不得低于 7.4.7 的规定。

#### 7.6 扫查图像显示

扫查图像显示应符合 6.8 的规定。

#### 7.7 检测数据的评价和显示的分类

检测数据的评价和显示的分类应符合 6.9 的规定，但确认为缺陷的检测数据，应按 7.9 进行评定。

#### 7.8 缺陷定量

缺陷定量应符合 6.10 的规定。

#### 7.9 缺陷评定和质量分级

##### 7.9.1 公称厚度 3.2mm~6mm 的管子和管道环向对接接头的质量评定

7.9.1.1 公称厚度 3.2mm~6mm 的管子和管道环向对接接头的质量评定分为合格和不合格两种。

7.9.1.2 凡判定为裂纹、未熔合、根部未焊透及密集性的缺陷显示，评为不合格。

7.9.1.3 凡在判废线（含判废线）以上的缺陷显示，评为不合格。

7.9.1.4 凡在定量线（含定量线）以上、判废线以下且指示长度大于 5mm 的缺陷显示，评为不合格。

7.9.1.5 单个条形缺陷自身高度大于 1/4 壁厚的显示，评为不合格。

##### 7.9.2 公称厚度大于等于 6mm 的管子环向对接接头的质量评定

7.9.2.1 凡判定为裂纹、坡口未熔合、根部未焊透的缺陷显示，评为Ⅲ级。

7.9.2.2 凡在判废线（含判废线）以上的缺陷显示，评为Ⅲ级。

7.9.2.3 凡在评定线（不含评定线）以下的缺陷显示，评为Ⅰ级。

7.9.2.4 对于评定线以上、判废线（不含判废线）以下的缺陷显示评定。

a) 对于安装和在制的焊接接头应按照表 10 的规定进行评级；

b) 对于在用焊接接头按照表 11 的规定进行评级。

表 10 焊接接头质量分级方法一

单位为 mm

| 等级 | 反射波幅<br>所在区域 | 单个缺陷指示长度      | 缺陷的累计长度                     |
|----|--------------|---------------|-----------------------------|
| Ⅰ  | Ⅰ            | ≤40           | -                           |
|    | Ⅱ            | ≤t/3，最小可为 5   | 长度小于或等于焊缝周长的 10%，<br>且小于 20 |
| Ⅱ  | Ⅰ            | ≤60           | -                           |
|    | Ⅱ            | ≤2t/3，最小可为 10 | 长度小于或等于焊缝周长的 15%，<br>且小于 30 |
| Ⅲ  | Ⅰ            | 超过Ⅱ级者         |                             |
|    | Ⅱ            |               |                             |

注：母材厚度不同时，取薄侧厚度。

表 11 焊接接头质量分级方法二

单位为 mm

| 质量 | 工件厚度<br>mm | 单 个 缺 陷 |      | 多 个 缺 陷 |
|----|------------|---------|------|---------|
|    |            | 表面缺陷    | 埋藏缺陷 |         |

| 等级  |         | 长 度<br>lmax | 高 度<br>h3 | 若 l>lmax<br>缺陷高度<br>h1 | 长 度<br>lmax | 高 度<br>h2 | 若 l>lmax<br>缺陷高度<br>h1 |                                                                                                                                |
|-----|---------|-------------|-----------|------------------------|-------------|-----------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I   | 3.2≤t≤8 | t           | 1.0       | -                      | t           | 1.5       | 1.0                    | 1) 若多个缺陷其各自高度 h 均为：<br>h1<h≤h2 或 h3，则在任意 12t 范围内累计长度不得超过 2t 且最大值为 50mm；<br>2) 对于单个或多个允许的缺陷，其最大累计长度不得大于整条焊缝长度的 5%且最长不得超过 80mm   |
|     | 8<t≤15  | 8           | 2.0       | 1.0                    | 8           | 2.0       | 1.0                    |                                                                                                                                |
|     | 15<t≤40 | 15          | 2.5       | 1.5                    | 15          | 2.5       | 1.5                    |                                                                                                                                |
|     | 40<t≤50 | 25          | 3         | 2.0                    | 25          | 3.0       | 2.0                    |                                                                                                                                |
| II  | 3.2≤t≤8 | t           | 1.5       | 1.0                    | t           | 1.5       | 1.0                    | 1) 若多个缺陷其各自高度 h 均为：<br>h1<h≤h2 或 h3，则在任意 12t 范围内累计长度不得超过 3t 且最大值为 80mm；<br>2) 对于单个或多个允许的缺陷，其最大累计长度不得大于整条焊缝长度的 10%且最长不得超过 100mm |
|     | 8<t≤15  | t           | 2.0       | 1.0                    | t           | 2.0       | 1.5                    |                                                                                                                                |
|     | 15<t≤40 | t           | 2.5       | 1.5                    | t           | 3.0       | 2.0                    |                                                                                                                                |
|     | 40<t≤50 | 40          | 2.5       | 1.5                    | 40          | 4.0       | 2.5                    |                                                                                                                                |
| III | 3.2~50  | 超过 II 级者    |           |                        |             |           |                        |                                                                                                                                |

注：母材壁厚不同时，取薄侧厚度值。

## 8 报告和存档

### 8.1 检测报告

#### 8.1.1 检测报告至少应包括如下内容:

- 委托单位或指令;
- 检测标准;
- 被检工件: 名称、编号、规格、材质、坡口型式、焊接方法和热处理状况;
- 检测设备及器材: 相控阵仪器、相控阵探头、扫查装置、试块、耦合剂;
- 检测工艺参数: 扫描类型、显示方式、扫查方式、聚焦法则、探头配置及扫查灵敏度等;
- 检测覆盖区域: 理论模拟软件演示的检测区域覆盖图及参数;
- 检测示意图: 检测部位以及所发现的缺陷位置和分布图;
- 扫查数据: 扫查数据以电子版形式保存和打印出彩色扫查数据的图像;
- 检测结论: 评定出缺陷位置、尺寸及质量级别;
- 检测人员和审核人员签字;
- 检测日期。

#### 8.1.2 检测报告格式可参照附录 G 的规定。

### 8.2 存档

#### 8.2.1 扫查数据要以电子版形式保存。

#### 8.2.2 扫查数据、检测记录和报告要存档, 保存期不少于 7 年。7 年后, 若用户需要, 可转交用户保管。

**附录 A**  
**(资料性附录)**  
**奥氏体不锈钢对接接头相控阵超声检测方法和质量分级**

**A.1 范围**

本附录规定了工件厚度 10mm~80mm 奥氏体不锈钢对接接头的相控阵超声检测方法和质量分级。  
3.2mm~10mm(不包含 10mm)奥氏体不锈钢对接接头可参照本标准第 6 章和第 7 章的规定执行,但应考虑材料声学特性(如声速、晶粒度等)的变化,根据实际工艺验证情况选择合适的探头。

**A.2 探头和人员的额外要求**

**A.2.1 探头**

一般采用纵波探头,探头标称频率应在 1MHz~5MHz 范围内。本附录推荐采用 DLA 和 DMA 相控阵探头。

**A.2.2 检测人员**

按本附录进行检测的人员,应接受一定时间的有关奥氏体不锈钢对接接头相控阵超声检测方法的培训。对奥氏体钢的材料特性、焊接特性、焊缝组织及声学特性、窄脉冲 DLA 和 DMA 纵波相控阵探头的声场特性有一定了解。对检测中可能出现的问题能做出正确的分析、判断和处理。

**A.3 检测工艺文件**

**A.3.1** 焊接接头的相控阵超声检测工艺文件除满足 4.3 的要求之外,还应满足本章的规定。当表 A.1 中规定的相关因素变化超出规定时,应重新修订或编制工艺规程。

**表 A.1 工艺规程涉及的相关因素**

| 序号 | 相关因素的内容                        |
|----|--------------------------------|
| 1  | 焊接接头类型和几何形状,包括工件规格、厚度、尺寸和产品形式等 |
| 2  | 焊接方法、焊接工艺(如坡口型式、角度等)           |

**A.3.2 操作指导书的工艺验证**

工艺验证应在模拟试块上进行,并符合 4.3.4.2 的规定。

**A.4 对比试块**

**A.4.1** 对比试块的材质应与被检材料相同或相近,试块的中部设置一条对接接头,该焊接接头的坡口形式应与被检焊接接头相似,并采用同样的焊接工艺制成,形状和尺寸(推荐)如图 A.1~A.3。图 A.1 对比试块适用于工件厚度范围为 10mm~20mm,图 A.2 对比试块适用于工件厚度范围为 20mm~40mm,图 A.3 对比试块适用于工件厚度范围为 40mm~80mm。对于检测面曲率半径小于等于 250mm 的环向对接接头,可参照 NB/T47013.3 附录 K 中 RB-C 试块的形状和尺寸制作,试块的制作要求和人工反射体的位置按本附录进行。在满足基准灵敏度要求时,试块上的人工反射体根据检测需要可采取其他布置形式或添加,也可采用其他形式的等效试块。

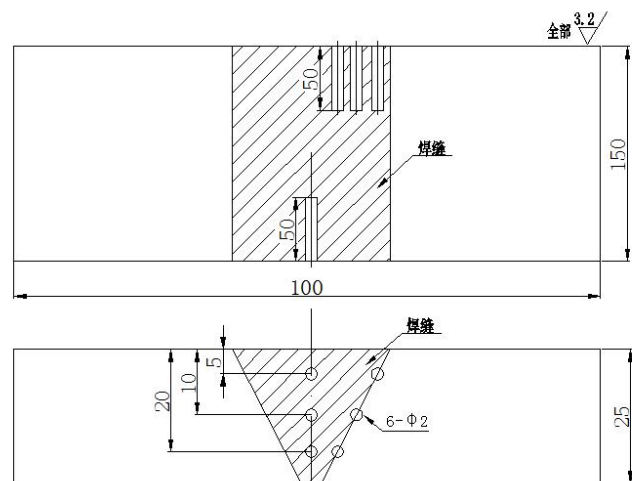


图 A.1 对比试块

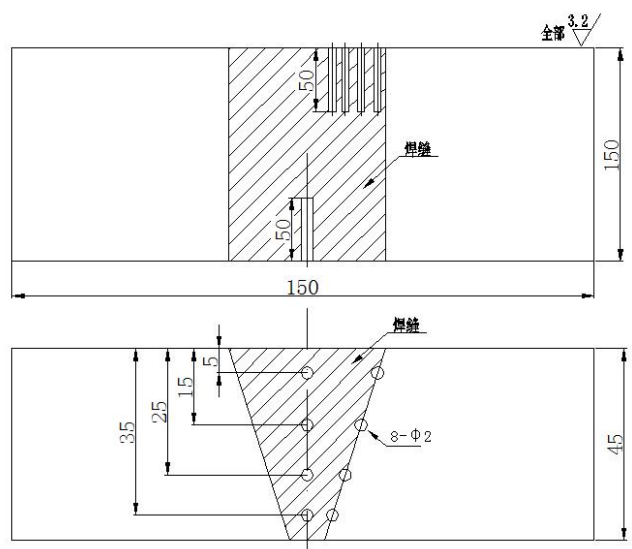


图 A.2 对比试块

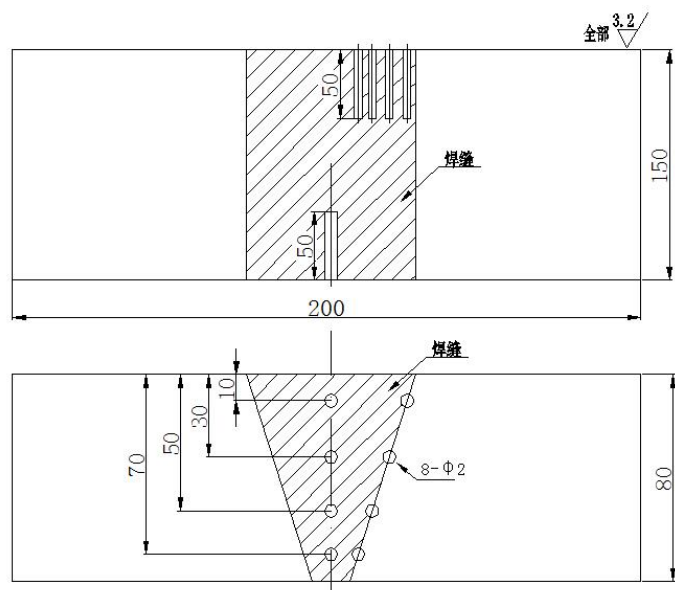


图 A.3 对比试块

A.5 检测系统设置

A.5.1 聚焦设置

宜根据检测厚度设定相应的延迟法则。厚度较厚时，可分区扫查，各分区范围应相互覆盖不低于 15%。表 A.2 给出了聚焦设置的推荐选择。

表 A.2 聚焦设置推荐

| 检测厚度 t/mm               | 扇扫角度范围  | 聚焦深度/mm |
|-------------------------|---------|---------|
| 10~30                   | 40°~70° | 20      |
| 30~50                   | 40°~60° | 40~50   |
| 50~80                   | 35°~60° | 60~80   |
| 注：扇扫角度范围可选择楔块制造商推荐的角度范围 |         |         |

A.5.2 灵敏度设置

A.5.2.1 可选用 TCG 和 DAC 两种方式设置灵敏度。

A.5.2.2 在焊缝两侧进行检测时，用焊缝中心的横孔制作距离-波幅曲线确定灵敏度和评定；只在焊缝单侧检测时，应使声束应通过焊缝金属利用熔合区横孔制作距离-波幅曲线确定灵敏度和评定。评定线至定量线以下区域为Ⅰ区；定量线至判废线以下区域为Ⅱ区；判废线及以上区域为Ⅲ区。判废线（RL）、定量线（SL）和评定线（EL）的灵敏度见表 A.3。

表 A.3 距离-波幅曲线灵敏度

| 工件厚度 t/mm | $T \leq 50$                     | $50 < T \leq 80$                |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|
| 判废线       | $\phi 2 \times 40 + 3\text{dB}$ | $\phi 2 \times 40 + 6\text{dB}$ |
| 定量线       | $\phi 2 \times 40 - 2\text{dB}$ | $\phi 2 \times 40$              |
| 评定线       | $\phi 2 \times 40 - 8\text{dB}$ | $\phi 2 \times 40 - 6\text{dB}$ |

A.5.2.3 扫查灵敏度确定：扫查灵敏度应使检测范围内最大声程处反射体回波高度达到 20%以上，信噪比应达到 2:1。

A.5.3 扫查方式和扫描方式的选择

采用沿线扫查+扇形扫描

A.6 检测准备

A.6.1 检测区域

检测区域应包含焊缝本身宽度加上两侧各 10mm 的母材或实际热影响区（取较小值）。

A.6.2 检测面准备

A.6.2.1 原则上在焊接接头的双面双侧实施一次波法（直射法）检测。受几何条件限制，只能在焊接接头单面或单侧实施检测时，应将焊接接头余高磨平尽可能检测到整个检测区。

A.6.2.2 焊接接头两侧的扫查装置移动区应清除焊接飞溅、铁屑、油垢及其他杂质。去除余高的焊接接头，应将余高打磨到与邻近母材平齐。

A.6.3 检测标识

检测前应在工件扫查面上予以标记，标记内容至少包括扫查起始点和扫查方向，起始标记应用“0”表示，扫查方向用箭头表示。当焊缝长度较长需要分段检测时，应画出分段标识。所有标记应对扫查无影响。

A.6.4 横向缺陷检测

A.6.4.1.1 保留余高的焊接接头，可在焊接接头两侧边缘使斜探头与焊接接头中心线成不大于 10°的倾斜扫查，见图 A.4a）。

A.6.4.1.2 去除余高的焊接接头，将探头置于焊接接头表面作两个方向的平行扫查，见图 A.4b）。

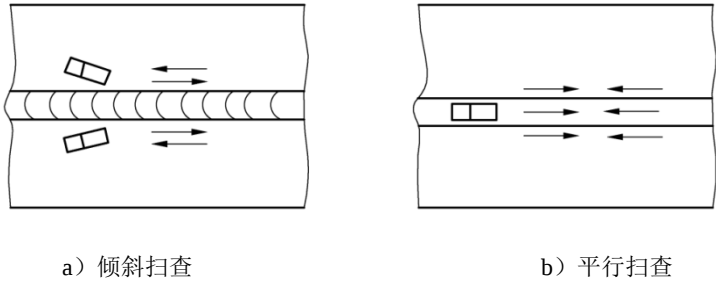


图 A.4 纵向倾斜扫查和纵向平行扫查

A.7 缺陷的评定

按 6.4.11 的规定执行。

A.8 质量分级

A.8.1 焊接接头不允许存在裂纹、未熔合和未焊透等缺陷。

A.8.2 评定线以下的缺陷均评为 I 级。

A.8.3 焊接接头质量分级按表 A.4 的规定执行。

表 A.4 奥氏体不锈钢对接接头超声检测质量分级

| 等级  | 工件厚度 $t/\text{mm}$ | 反射波幅所在区域 | 允许的单缺陷指示长度/mm                  |
|-----|--------------------|----------|--------------------------------|
| I   | 10 ~ 80            | I        | $\leq 40$                      |
|     |                    | II       | $L \leq t/3$ ，最小可为 10          |
| II  | 10 ~ 80            | I        | $\leq 60$                      |
|     |                    | II       | $L \leq 2t/3$ ，最小为 12，最大不超过 40 |
| III | 10 ~ 80            | II       | 超过 II 级者                       |
|     |                    | III      | 所有缺陷（任何缺陷指示长度）                 |
|     |                    | I        | 超过 II 级者                       |

**附 录 B**  
**( 规范性附录 )**

**相控阵超声检测仪器和探头性能指标要求**

**B.1 相控阵超声检测仪性能指标要求 ( 见表 B.1 )**

**表 B.1 相控阵超声检测仪性能指标要求**

| 序号 | 项目   | 技 术 要 求                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 性能要求 | <p>①按-3dB 测量, 工作频率范围为 1MHz~10MHz</p> <p>②应能提供足够的检测通道, 以保证扫查时对整个焊接接头体积进行全面检测, 各通道间的串扰值大于 45dB</p> <p>③每个通道的垂直线性误差不超过 5%, 水平线性误差不超过 1%</p> <p>④激发电脉冲应具有足够高的脉冲电压, 且脉冲电压根据被检工件的厚度可调, 实际脉冲电压与设定值偏差不大于±10%。脉冲上升时间 (即脉冲前沿幅度从脉冲峰值的 10%到 90%的上升时间) 和下降时间应小于可能使用的最高探头标称频率周期时间的 0.25 倍; 脉冲宽度应可调, 误差不大于 5ns, 步进不大于 10ns</p> <p>⑤采用本标准中规定的对比试块时, 在合适的检测设置下能使检测区域范围内的反射体回波信号有 10dB 以上的信噪比</p> <p>⑥应具有 80dB 以上连续可调的衰减器, 步进级每档不大于 2dB, 其精度为任意相邻 12dB 的误差在±1dB 以内, 最大累计误差不超过 1dB</p> <p>⑦脉冲重复频率应可调, 最大值应能达到 500Hz 及以上</p> <p>⑧接收放大电路的-6dB 带宽应大于可能使用的各探头标称频率的 0.5 倍~2 倍, 或者至少大于可能使用探头的频带宽度</p> <p>⑨数字采样频率至少 10 倍于可能使用的最高探头标称频率</p> <p>⑩采用本标准中规定的模拟试块时, 在合适的检测设置下设备应能够清楚地显示和测量其中的模拟缺陷</p> <p>⑪各通道间电压误差不超过 10%, 各通道间 50ns 脉冲宽度误差不超过 10%, 10dB~80dB 线性增益误差不超过±1dB, 各通道间脉冲电压误差不大于 10%</p> |
| 2  | 功能要求 | <p>①仪器的数据采集应和扫查装置的移动同步, 扫查步进值应可调, 其最小值应不大于 0.5mm</p> <p>②具有角度增益补偿功能</p> <p>③仪器应能存储和分辨各 A 扫描信号之间相对位置的信息, 如编码位置</p> <p>④相控阵超声检测显示应至少包括 A 扫描信号和 S 扫描或 E 扫描图像</p> <p>⑤仪器所显示和记录的 A 扫描信号不应有明显畸变或变形</p> <p>⑥仪器软件至少应具有同步显示相控阵超声图像和对应的 A 扫描信号局部位置信号放大等必要的分析功能</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

表 B.1 (续)

| 序号 | 项目   | 技 术 要 求                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2  | 功能要求 | <p>仪器应能够以不可更改的方式将所有的 A 扫描信号和相控阵超声图像存储于磁、光等永久介质，并能输出其硬拷贝</p> <p>仪器至少能以 256 级色度显示相控阵超声图像</p> <p>仪器应能够选择合适的 A 扫描时间窗口，以检测到需要的信号；闸门起点相对于发射脉冲至少应在 <math>0\mu\text{s} \sim 200\mu\text{s}</math> 间可调节，窗口宽度至少在 <math>5\mu\text{s} \sim 100\mu\text{s}</math> 间可调节。其闸门的电平任意可调</p> <p>仪器可具有滤波、取波幅阈值等数字信号处理功能，但仪器应能记录处理之前的原始检测数据</p> <p>⑪ 仪器软件应包括相控阵超声显示的深度或时基线性化算法，以测量目标体深度和高度</p> <p>⑫ 相控阵超声检测显示应同步显示 A 扫描信号和相控阵超声图像，A 扫描信号采用半波形式</p> <p>⑬ 应具有聚焦法则生成的模拟软件，能够计算或从外部导入聚焦法则，对超声波束特征参数进行直接修改</p> |

## B.2 相控阵超声探头性能指标要求 (见表 A.2)

表 B.2 相控阵超声探头性能指标要求

| 性 能                                                                                                                      | 指 标 要 求                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 中心频率                                                                                                                     | 中心频率偏差的最大允许值为标称频率的 $\pm 10\%$             |
| 宽带                                                                                                                       | $-6\text{dB}$ 带宽误差的最大允许值为标称值的 $\pm 20\%$  |
| 距离幅度特性                                                                                                                   | 距离幅度曲线与制造商规定的数值误差的最大允许值为 $\pm 2\text{dB}$ |
| 电阻抗或静电容                                                                                                                  | 测得的阻抗模或静电容误差的最大允许值为标称值的 $\pm 20\%$        |
| 灵敏度                                                                                                                      | 同一探头晶片间灵敏度不大于 $\pm 2\text{dB}$            |
| 楔块                                                                                                                       | 楔块的角度不得使检测的角度范围超过制造商推荐的范围，形状应与被检工件曲率相匹配   |
| 注 1：相控阵探头的晶片与楔块可以是可拆卸的，也可以是一体的。<br>注 2：相控阵探头的晶片数量、晶片尺寸及间距，应根据检测要求和制造商推荐值选择。<br>注 3：相控阵探头应标出厂家的名称、探头类型、频率和晶片参数、楔块声速和楔块角度。 |                                           |

## B.3 组合性能

**B.3.1** 采用本标准规定的对比试块时，在合适的检测设置下能使检测区域范围内的反射体回波信号幅度达到满屏的 80%，并有 10dB 以上的信噪比，每隔 6 个月至少应进行一次测定和记录。

**B.3.2** 采用本标准规定的模拟试块时，在合适的检测设置下设备应能够清楚地显示和测量其中的模拟缺陷，每隔 6 个月至少应进行一次测定和记录。

## 附 录 C

### ( 资料性附录 )

#### 200mm~400mm 钢制承压设备焊接接头相控阵超声检测和质量分级

##### C.1 适用范围

本附录规定了 200mm~400mm ( 不含 200mm ) 钢制承压设备焊接接头相控阵超声检测及质量分级。

##### C.2 对比试块

C.2.1 对比试块制作应符合 4.2.4 的规定。

C.2.2 采用的对比试块为 PRB-V 系列试块。其形状尺寸见图 10 和表 C.1。

表 C.1 PRB-V 试块尺寸单位为 单位为 mm

| PRB-V | 被检工件厚度     | 对比试块厚度 $T$ | 标准孔位置 $b$  | 标准孔直径 $d$ |
|-------|------------|------------|------------|-----------|
| No.1  | >200 ~ 250 | 225        | $T/4, T/2$ | 9.5       |
| No.2  | >250 ~ 300 | 275        | $T/4, T/2$ | 11.1      |
| No.3  | >300 ~ 350 | 325        | $T/4, T/2$ | 12.7      |
| No.4  | >350 ~ 400 | 375        | $T/4, T/2$ | 14.3      |

##### C.3 检测技术要求

对于 200mm~400mm ( 不含 200mm ) 的焊接接头相控阵超声检测技术要求为：

- a) 将焊接接头余高磨平。对焊缝两侧斜射波声束扫描经过的母材区域要用纵波声束进行检测；
- b) 采用直射法在焊接接头的双面双侧进行检测；
- c) 由于结构限制，可在焊接接头单面双侧、单面单侧或双面单侧进行检测；
- d) 应进行横向缺陷的检测。检测时，将相控阵探头放在焊缝及热影响区上作两个方向的平行扫描。

##### C.4 检测准备

检测准备应符合 6.4 的规定。

##### C.5 检测系统的调试

###### C.5.1 相控阵探头的选择

相控阵探头的检测频率采用 2MHz~5MHz。与工件厚度有关的相控阵探头参数选择可参考表 C.2。

表 C.2 检测焊接接头时相控阵探头参数选择推荐表

| 工件厚度/mm                                                                                              | 主动孔径/mm | 标称频率/MHz |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|
| >200 ~ 400                                                                                           | 20 ~ 32 | 2 ~ 5    |
| 注 1：在满足能穿透的情况下，尽可能选择主动孔径小的探头。<br>注 2：为了提高图像质量，电子扫描在满足穿透的情况下，应选择主动孔径小的探头。<br>注 3：晶片长度 $w$ 应大于等于 10mm。 |         |          |

C.5.2 扫描类型

应选择扇形扫描进行检测，对母材区域可采用电子扫描（纵波）进行检测。

C.5.3 聚焦法则参数

聚焦法则参数内容的选择应满足 4.8 的规定。

C.5.4 检测区域覆盖

检测区域覆盖应符合 6.5.3 的规定。

C.5.5 DAC 或 TCG 曲线的制作

在 PRB-V 系列对比试块上制作 DAC 或 TCG 曲线。

C.5.6 角度增益补偿

角度增益补偿应符合 6.5.5 的规定。

C.5.7 DAC 或 TCG 曲线的灵敏度选择

C.5.7.1 DAC 或 TCG 曲线灵敏度的选择应符合表 C.3 的规定。

C.5.7.2 检测横向缺陷时，应将各线灵敏度均提高 6dB。

C.5.7.3 检测时应进行声能传输损失差的测定，并根据实测结果对检测灵敏度进行补偿，补偿量应计入 DAC 或 TCG 曲线。

表 C.3 DAC 或 TCG 曲线的灵敏度

| 管壁厚度/mm    | 评定线（EL）              | 定量线（SL）              | 判废线（RL）  |
|------------|----------------------|----------------------|----------|
| >200 ~ 400 | $\phi d-16\text{dB}$ | $\phi d-10\text{dB}$ | $\phi d$ |

C.5.8 相控阵探头配置

相控阵探头配置应符合 6.5.7 的规定。

C.5.9 扫查覆盖

扫查覆盖应符合 6.5.8 的规定。

C.5.10 扫查步进的设置

扫查步进的设置应符合 6.5.9 的规定。

C.5.11 编码器的校准

编码器的校准应符合 6.5.10 的规定。

C.5.12 耦合监控的设置

耦合监控的设置应符合 6.5.11 的规定。

C.5.13 温度

温度的控制应符合 4.12 的规定。

C.6 现场检测

现场检测应符合 6.7 的规定，但扫查灵敏度不得低于 C.5.7 的规定。

C.7 扫查图像显示

扫查图像显示应符合 6.8 的规定。

C.8 检测数据的评价和显示的分类

检测数据的评价和显示的分类应符合 6.9 的规定，但确认为缺陷的检测数据，应按 C.10 进行评定。

C.9 缺陷定量

缺陷定量应符合 6.10 的规定。

C.10 缺陷的评定和质量分级

C.10.1 凡判定为裂纹、坡口未熔合及未焊透的缺陷显示，评为Ⅲ级。

C.10.2 凡在判废线（含判废线）以上的缺陷显示，评为Ⅲ级。

C.10.3 凡在定量线（不含定量线）以下的缺陷显示，评为Ⅰ级。

C.10.4 对于定量线以上、判废线以下的缺陷显示一般应按照 C.10.4.1 的规定进行评级，特殊要求时可按照 C.10.4.2 的规定进行评级。

C.10.4.1 质量分级方法一：

- a) 缺陷长度按实测值计；
- b) 质量分级按表 C.4 的规定进行。

表 C.4 焊接接头质量分级 单位为 mm

| 等级                                                                                                | 板厚/ $T$       | 反射波幅<br>(所在区域) | 单个缺陷长度 $L$        | 多个缺陷累计长度 $L'$                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|-------------------|---------------------------------|
| Ⅰ                                                                                                 | $>200\sim400$ | Ⅰ              | $\leq 75$         | —                               |
|                                                                                                   |               | Ⅱ              | $L=T/3$ ，最大不超过 50 | 在任意 $9T$ 焊缝长度范围内 $L'$ 不超过 $T$   |
| Ⅱ                                                                                                 | $>200\sim400$ | Ⅰ              | $\leq 90$         | —                               |
|                                                                                                   |               | Ⅱ              | 最大不超过 75          | 在任意 $4.5T$ 焊缝长度范围内 $L'$ 不超过 $T$ |
| Ⅲ                                                                                                 | $>200\sim400$ | Ⅱ              | 超过Ⅱ级者             |                                 |
|                                                                                                   |               | Ⅲ              | 所有缺陷              |                                 |
|                                                                                                   |               | Ⅰ              | 超过Ⅱ级者             |                                 |
| 注 1：母材板厚不同时，取薄板侧厚度。<br>注 2：当焊缝长度不足 $9T$ （Ⅰ级）或 $4.5T$ （Ⅱ级）时，可按比例折算。当折算后的缺陷累计长度小于单个缺陷长度时，以单个缺陷长度为准。 |               |                |                   |                                 |

C.10.4.2 质量分级方法二：

- a) 圆形缺陷的评定按 C.10.4.1 的规定进行；
- b) 条形缺陷的评级按表 6 的规定进行。

**附 录 D**  
**( 资料性附录 )**  
**横波端点衍射法测量缺陷自身高度**

**D.1 适用范围**

D.1.1 本附录规定了采用横波端点衍射法测量缺陷自身高度的相控阵超声检测方法。

D.1.2 本附录规定了在使用相控阵超声扇形扫描或电子扫描检测发现缺陷时，方可采用相控阵超声横波端点衍射法测量缺陷自身高度。

**D.2 检测人员**

按本附录进行检测的人员，应接受有关相控阵超声技术和端点衍射法测量缺陷自身高度的培训，并掌握一定的断裂力学和焊接基础知识；掌握端点衍射法的传播特性，能正确分析检测中可能出现的问题、断裂和处理。

**D.3 一般要求**

D.3.1 采用单探头接触式相控阵超声横波端点衍射法测量缺陷自身高度。

D.3.2 尽量选用焊缝单面两侧进行直射波法测量缺陷自身高度，也可采用一次反射回波法测量缺陷自身高度。

D.3.3 原则上应选择采用相控阵超声进行检测的探头频率、激发的晶片数及范围内的角度。将相控阵超声声束的焦点设定在所发现缺陷的部位。

D.3.4 选择缺陷幅度最高位置进行测量缺陷自身高度。

D.3.5 测高时灵敏度应根据需要确定，但应使噪声回波高度不超过荧光屏满刻度的 20%。

D.3.6 相控阵超声聚焦横波声束的宽度与声束范围等主要技术参数，应满足所探测缺陷的要求。

**D.4 端点衍射法测高的方法**

D.4.1 首先根据相控阵超声检测时发现的缺陷，确定是否对其进行测高。

D.4.2 确定最佳检测参数后，将相控阵超声声束的焦点设定在所发现缺陷的部位。

D.4.3 找到最大反射波位置

将探头置于工件表面，移动探头找到该缺陷最大反射波高位置，即声束轴线对准缺陷的最佳位置，将该波高调整到满屏高度的 80%。

D.4.4 识别端点衍射波信号

找到缺陷最大反射波位置后，固定探头位置，将该波高调整到满屏高度的 80%。提高灵敏度 12dB~25dB，移动探头沿缺陷高度方向扫查，声束轴线完全离开缺陷端点的第一个峰值回波信号，即是端点衍射波。

**D.4.5 测量缺陷自身高度**

D.4.5.1 对于开口缺陷，记录反射波最佳位置的深度值和缺陷的最佳衍射波位置的深度值，两值相减，即缺陷自身高度。

D.4.5.2 对于埋藏缺陷，记录缺陷上下端点最佳衍射波位置的深度值，两值相减，得到缺陷自身高度。

D.4.6 读取缺陷端点衍射回波峰值信号幅度应大于等于荧光屏满刻度的 10%。

D.4.7 为保证测量缺陷自身高度的精度，测量值应记录小数点后 1 位数。

D.4.8 在记录缺陷高度时，应将闸门确定在端点衍射回波峰值上。

CASEI 团体标准

《钢制承压设备焊接接头相控阵超声检测》

编 制 说 明

标准工作组

2019 年 10 月 11 日

## 一、工作简况

### 1、编制的目的和意义

近年来工业水平高速发展，对安全环保的强调和对检测质量、检测效率的不断重视，使相控阵超声检测技术在我国承压设备行业有了越来越广泛的应用需求。

相控阵超声检测技术是根据设定的延迟法则激发相控阵探头各独立阵元，合成声束，再按一定的接收法则采集超声信号并以图像的方式显示被检对象内部状态的超声检测技术。相较其它的超声波检测技术，声束精确可控，灵活性强，具有高效、直观、重复性好、适合复杂工件，以及能实时成像等优点，近年来在工业无损检测领域，得到越来越广泛的应用，解决了众多以往无法解决的无损检测问题，具有很大的应用前景。

为了适应相控阵超声检测工业应用的发展需求，国内外有关机构相继开展了相控阵超声标准的制定工作。目前 ISO（国际标准化组织）关于相控阵超声的系列标准已发布，美国机械工程师学会（ASME）锅炉及压力容器规范也已将相控阵超声应用标准列入到第 卷中。我国目前虽然尚无系列化的相控阵超声标准，但已发布的 GB/T32563 标准对我国相控阵超声检测技术的应用起到规范和推动作用。

国内许多企业已经开始了其在工业领域应用的研究，进行了大量的理论分析和试验及现场应用工作，积累了比较丰富的经验，并建立了相应的企业标准。

随着对相控阵超声检测技术逐步深入理解、实践的积累、技术实验验证结果的研究，以及近年来相控阵超声检测技术的进步，为了在承压设备行业更好地开展相控阵超声检测工作，有必要在参考相关国内外标准的基础上，编制承压设备用相控阵超声检测的方法标准。

CASEI 团体标准编制，对于满足承压设备制造和使用的需要，促进实现无损检测的数字化、图像化进程，提升我国整体无损检测技术水平，保障承压设备质量安全，促进国际技术交流和贸易发展以及提高我国承压设备产品在国际市场上的竞争力等方面具有重要意义。

### 2、编制单位及主要起草人员

本标准的起草单位和人员包括：

中国特种设备检测研究院：郑晖、侯金刚、杨齐

合肥通用机械研究院：阎长周

中国科学院声学研究所：廉国选

安徽津利能源科技有限责任公司：孙磊

中国第一重型机械集团大连加氢反应器制造有限公司：周凤革

中国石油化工股份有限公司镇海炼化分公司：胡联伟

本标准主要由中国特种设备检测研究院执笔。

### 3、工作过程

2019 年 5 月 10 日，召开标准编制预备会议，听取行业内人员对标准编制的意见；

2019 年 5 月~2019 年 9 月：标准草稿的编写，仪器、探头及其组合性能指标的编制和研讨确定；

2019 年 10 月，完成标准草稿的编制。

## 二、编制原则

1、本标准是在近年来国内对相控阵超声检测技术研究基础上，参考国际上的研究成果和标准，结合国内企业实际使用的实践经验、技术验证和试验结果，广泛征求国内同行及使用单位的意见，充分考虑我国的行业现状和未来发展的趋势，并以此为技术依据而制定。制定标准时既考虑行业应用的指导性、实用性、可操作性、生产效率和检测成本问题，也力求使技术要求符合国内外行业发展需要；

2、标准格式符合 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》的规定；

3、与国家法规、法律和有关标准相一致；

4、统一了标准化对象的名词、术语、规格代号及技术要求等。

### 三、标准主要内容说明

本标准是新编制标准，主要包括以下几个方面的内容：

1 范围、2 规范性引用文件、3 术语和定义、4 一般要求、5 使用原则、6 钢制焊接接头相控阵超声检测和质量分级、7 钢制承压设备管子和压力管道环向对接接头相控阵超声检测和质量分级、8 报告和存档，以及附录 A~D。

### 四、采用国际标准和国外先进标准情况

本标准的编制主要根据相控阵超声检测技术的研究和应用现状、典型应用案例、使用经验及相控阵超声检测技术的发展趋势，主要参考了 GB/T32563《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》、NB/T 47013.3《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》、ISO 13588：2012《Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing —Use of automated phased array technology》、ASTM E2700-2014《Standard Practice for Contact Ultrasonic Testing of Welds Using Phased Arrays》以及 ASME BPVC. 的相关内容。

标准的一般要求、检测工艺和选择、部分标准试块、质量分级、检测记录和报告等部分主要参考了 NB/T47013.3 承压设备焊接接头相控阵超声检测方法和质量分级主要参考了 ISO13588、ASTM E2700、ASME BPVC. 以及 NB/T 47013.3 的相关内容。

### 五、主要内容和规定的依据

#### 1 范围

本节的提出主要结合国内企业实际使用的实践经验、技术验证和试验结果，广泛征求国内同行及使用单位的意见，规定了在制和在用钢制承压设备采用相控阵超声检测的方法和质量分级要求，特别指出按本标准相关技术要求进行的相控阵超声检测为可记录的脉冲反射法超声检测。

#### 2 规范性引用文件

本节给出了标准正文中提及的相关规范性引用文件（标准）。

#### 3 术语和定义

本节规定了与相控阵超声检测技术、延迟法则、扫描方式以及图像显示等相关的术语和定义，以便检测人员正确理解和应用。主要参考了 SE1316 和 EN 16018 标准相关术语和定义的描述，并做了适当的修改。

#### 4 一般要求

##### 4.1 检测人员

本节规定了从事相控阵超声检测人员的要求。

#### 4.2 设备和器材

本节规定了相控阵超声仪器、探头、扫查装置、试块、耦合剂以及相控阵超声仪器和探头校准、核查、运行核查和检查等具体要求。

本节规定了相控阵超声仪器和探头需要具备的主要性能参数，并要求提供质量合格证明文件和相应的性能指标证明文件，同时规定了相控阵超声检测仪器和探头的组合性能要求。

本节规定了扫查装置的基本配置和功能要求。

本节规定了标准试块的功能和要求，其中半圆试块、专用线性试块、A 型相控阵试块和 B 型试块是相控阵超声检测仪器及系统性能测试专用试块。

本节规定了对比试块和模拟试块的功能，并在相应的章节内规定了对比试块的具体形式和数量。

本节对于耦合剂的要求与 NB/T47013.3 部分一致。

本节规定了相控阵超声仪器和探头校准、核查、运行核查和检查的要求，体现出相控阵超声检测仪器和探头特有的性能要求。

#### 4.3~4.5 扫查方式和扫描方式的选择

本节根据相控阵超声检测的特点，根据不同的检测对象，按照各章、条的具体要求选择所需的机械扫查方式和电子扫描方式，也可结合并同时进行。

#### 4.6 灵敏度补偿

本节的规定与 NB/T47013.3 保持一致。

#### 4.7 扫查灵敏度

扫查灵敏度的设置应符合相关章节的规定。

#### 4.8 聚焦法则

本节规定了相控阵超声检测时，采用不同的延迟法则设置时应考虑的因素，主要是阵元参数、楔块参数、阵元数量、阵元位置、角度参数、距离参数、声速参数、工件厚度、探头位置以及聚焦声程或深度等软件和硬件参数的设置内容。

#### 4.9 检测系统的复核

检测系统的复核时机与 NB/T47013.3 要求一致。

复核的要求体现了相控阵超声检测技术的特点，包括了编码器的复核和、敏度的复核，主要参考了 NB/T47013.10 及 GB/T32563 中的相关规定。

#### 4.10 与其他无损检测方法综合应用

本节规定了可采用的其他无损检测方法的要求。

#### 4.11 温度

本节规定了相控阵超声检测的温度范围，以及超出该范围时需要采取的措施，同时规定了设置和校准与实际检测时的温差范围，该部分参考了 ISO13588 和 ASTM E2700。

### 5 使用原则

本节规定了不同的接头类型采用的扫描类型及显示方式。

### 6 钢制承压设备焊接接头相控阵超声检测和质量分级

#### 6.1 范围

本节规定了钢制承压设备焊接接头的相控阵超声检测；对于母材厚度为 200mm~400mm 的焊接接头的超声检测参照附录 C 的固定进行。

与承压设备有关的支撑件和结构件焊接接头的相控阵超声检测也可参照本标准执行。

## 6.2 检测技术等级

本节规定了承压设备焊接接头相控阵超声检测技术等级分为 A、B、C 三个等级，并规定了检测技术等级的具体要求。

## 6.3 试块

本节对于对比试块做出了规定，在尺寸满足检测要求，不会对灵敏度的调节造成影响时，可以采用 NB/T47013.3 中规定的 CSK 系列试块，同时规定在满足灵敏度要求时，试块上的人工反射体可根据检测需要可采取其他布置形式或添加，也可采用其他形式的等效试块。

## 6.4 检测准备

本节对检测区域、表面制备要求、焊缝标识及参考线的规定做了具体要求。

## 6.5 检测系统的调试

本节规定了探头选择的一般原则，并给出探头参数推荐表；

本节规定了检测区域覆盖的要求。

本节规定了灵敏度设置的要求，可选用 TCG 和 DAC 两种方式设置灵敏度，但初始扫查推荐采用 TCG 方式；

本节规定了 ACG 设置的要求。

本节规定了覆盖范围和扫查步进的要求。

本节规定了编码器的校准及耦合监控的设置要求。

本节对于不同的焊接接头类型规定了具体的检测原则和方式。

本节规定了检测数据的有效性要求及分类。

本节规定了焊接接头的缺陷定量，主要参考了 NB/T47013.3 的内容，同时根据大量的试验数据进行了适当修正。

## 7 钢制承压设备管子和压力管道环向对接接头相控阵超声检测和质量分级

本节规定了探头选择的一般原则，并给出探头参数推荐表；

本节规定了检测区域覆盖的要求。

本节规定了灵敏度设置的要求，可选用 TCG 和 DAC 两种方式设置灵敏度，但初始扫查推荐采用 TCG 方式；

本节规定了 ACG 设置的要求。

本节规定了覆盖范围和扫查步进的要求。

本节规定了编码器的校准及耦合监控的设置要求。

本节对于不同的焊接接头类型规定了具体的检测原则和方式。

本节规定了检测数据的有效性要求及分类。

本节规定了焊接接头的缺陷定量，主要参考了 NB/T47013.3 的内容，同时根据大量的试验数据进行了适当修正。

## 8 报告和存档

检测记录和报告参考了 NB/T 47013.3 部分，除了技术参数按照相控阵超声检测技术的特点进行了修订外，检测记录和报告的主要内容和格式与 NB/T 47013.3 标准保持一致。

## 9 附录

附录 A（资料性附录）奥氏体不锈钢对接接头相控阵超声检测方法和质量分级

附录 B（规范性附录）相控阵超声检测仪器和探头性能指标要求

附录 C（资料性附录）200mm ~ 400mm 钢制承压设备焊接接头相控阵超声检测和质量分级

附录 D（资料性附录）横波端点衍射法测量缺陷自身高度

## 六、本标准水平

在充分分析和借鉴国内外相关标准及研究成果、结合我国的行业现状的基础上，提出了承压设备的相控阵超声检测方法，制定本标准。既紧跟国际先进技术的发展方向，又具有我国的国情特色，填补国内空白，达到国际领先水平。

## 七、本标准属性

鉴于我国承压设备相控阵超声检测技术尚在发展之中，本标准可以作为推荐性标准。

## 八、贯彻本标准的要求和措施建议

相控阵超声检测技术将逐步广泛应用，但作为标准在我国的发展和应用尚短、所积累的经验也不够丰富，本身也存在一些局限性，因此各单位在应用前应充分准备、加强研究和试验，及时总结检测经验，以促进该技术的有序健康发展。