

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 47013.15—××××

承压设备无损检测 第 15 部分：相控阵超声检测

Nondestructive testing of pressure equipments—
Part 15: Phased-array ultrasonic testing

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
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	5
5 承压设备用原材料或零部件的相控阵超声检测方法和质量分级	14
6 承压设备焊接接头相控阵超声检测方法和质量分级	25
7 检测记录和报告	39
附录 A（规范性附录） 相控阵超声检测仪电气性能指标要求	41
附录 B（规范性附录） 相控阵超声探头电气性能指标要求	44
附录 C（规范性附录） 承压设备聚乙烯管道电熔接头相控阵超声检测方法和质量分级	45
附录 D（规范性附录） 承压设备用板材相控阵超声横波斜入射检测方法和验收标准	53
附录 E（资料性附录） 横波端点衍射法测量缺陷自身高度	55
附录 F（资料性附录） 灵敏度曲线制作方法	57

前 言

NB/T 47013《承压设备无损检测》分为以下 15 个部分：

- 第 1 部分：通用要求；
- 第 2 部分：射线检测；
- 第 3 部分：超声检测；
- 第 4 部分：磁粉检测；
- 第 5 部分：渗透检测；
- 第 6 部分：涡流检测；
- 第 7 部分：目视检测；
- 第 8 部分：泄漏检测；
- 第 9 部分：声发射检测；
- 第 10 部分：衍射时差法超声检测；
- 第 11 部分：X 射线数字成像检测；
- 第 12 部分：漏磁检测；
- 第 13 部分：脉冲涡流检测；
- 第 14 部分：X 射线计算机辅助成像检测；
- 第 15 部分：相控阵超声检测。

本部分为 NB/T 47013 的第 15 部分：相控阵超声检测。

本部分按 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）提出并归口。

本部分起草单位：略

本部分主要起草人：略

本部分为首次发布。

承压设备无损检测

第 15 部分：相控阵超声检测

1 范围

- 1.1 NB/T 47013 的本部分规定了承压设备采用相控阵超声检测的方法和质量分级要求。
- 1.2 本部分适用于金属材料制承压设备用原材料或零部件和焊接接头的相控阵超声检测，以及金属材料制在用承压设备的相控阵超声检测。对于聚乙烯管道电熔接头，可参照附录 C 进行相控阵超声检测。
- 1.3 与承压设备有关的支撑件和结构件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
GB/T 29460	含缺陷聚乙烯管道电熔接头安全评定
GB 15558.1	燃气用埋地聚乙烯（PE）管道系统 第 1 部分：管材
GB 15558.2	燃气用埋地聚乙烯（PE）管道系统 第 2 部分：管件
JB/T 8428	无损检测 超声试块通用规范
JB/T 11731	无损检测 超声相控阵探头通用技术条件
JB/T 11779	无损检测 相控阵超声检测仪技术条件
JB/T 10062	超声探伤用探头 性能测试方法
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 47013.10	承压设备无损检测 第 10 部分：衍射时差法超声检测

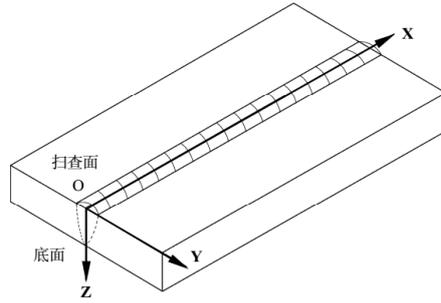
3 术语和定义

GB/T 12604.1、GB/T 29460、NB/T 47013.3 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 点以及 X、Y 和 Z 坐标的含义，如图 1 所示。



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

3.2

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接收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。

3.3

延迟法则 **delay law**

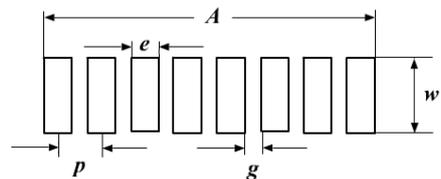
参与波束形成的发射和接收探头阵元以及对应每个阵元的发射电路和接收电路时序和时间间隔的控制规则，一般包含阵元激发延迟规则、发射延迟规则、接收延迟规则等。阵元激发延迟规则可以控制阵元激发的数量、起始位置；发射延迟规则可以控制发射声束的偏转、聚焦和聚焦偏转；接收延迟规则可以动态地改变接收信号的聚焦延迟，控制接收声束的动态聚焦。

3.4

激发孔径 **active aperture**

相控阵探头一次激发阵元数的有效长度和宽度，如图2所示。对于线阵探头，其激发孔径长度A按式（1）计算。

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



A——激发孔径；g——相邻阵元之间的间隙；e——阵元宽度；
n——激发阵元数量；p——相邻两阵元中心线间距；w——阵元高度

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

平行线扫查 **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。

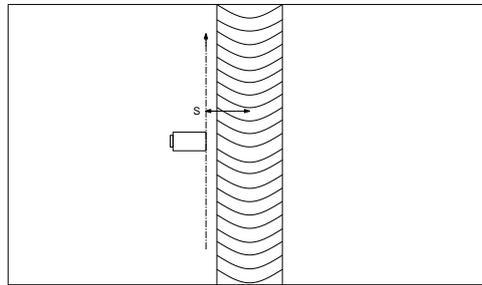


图 3 平行线扫查

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。

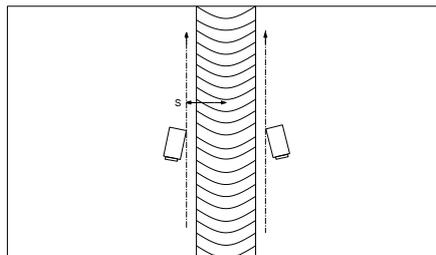


图 4 斜向扫查

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，图像中横坐标表示平行线扫描移动的距离，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，图像中横坐标表示平行线扫描移动的距离，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

P 型显示 P-display

将扫描结果以线性理论为基础计算后以主视图、俯视图和侧视图的形式显示。

3.17

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。

3.18

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。

3.19

相关显示 relevant indication

由缺陷引起的显示。

3.20

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 检测人员

4.1.1 相控阵超声检测人员的一般要求应符合 NB/T 47013.1 的有关规定。

4.1.2 相控阵超声检测人员应具有一定的金属材料、设备制造安装、焊接及热处理等方面的基本知识，应熟悉被检件的材质、几何尺寸及透声性等，对检测中出现的问题能做出分析、判断和处

理。

4.1.3 从事聚乙烯压力管道焊接接头相控阵超声检测的人员还应熟悉聚乙烯管道的材料特性、制造工艺和焊接工艺。

4.2 设备和器材

4.2.1 仪器和探头产品质量合格证明

相控阵检测仪产品质量合格证中至少应给出预热时间、低电压报警或低电压自动关机电压、发射脉冲重复频率、有效输出阻抗、发射脉冲电压、发射脉冲上升时间、发射脉冲宽度（采用方波脉冲作为发射脉冲的）、发射延迟精度以及放大器频带响应、衰减器精度、动态范围以及串扰等主要性能参数；

探头产品质量合格证中至少应给出探头型号及序列号、探头尺寸、中心频率、带宽、电阻抗或静电容、阵元数量、第一个和最后一个阵元位置、阵元间距、阵元间串扰、阵元脉冲回波灵敏度等其他主要性能参数。

4.2.2 检测仪器、探头和组合性能

4.2.2.1 检测仪器

- a) 采用的相控阵超声检测仪，其工作频率按 -3dB 测量应至少包括 $1.0\text{MHz}\sim 20\text{MHz}$ 的频率范围，超声仪器各性能指标和测试条件应满足附录 A 中的要求并提供相应的证明文件，测试方法按 JB/T 11779 的规定；
- b) 相控阵超声检测仪具备分时激发和并时激发多个阵元，脉冲激发电压最大值不低于 75V 。增益可调，最小步进不大于 1dB ；
- c) 相控阵超声检测仪至少具有超声波发射、接收、放大、数据自动采集、记录、显示和分析功能；
- d) 相控阵超声检测仪需有聚焦和修正算法以及时间延时控制软件。具备幅值测量、深度定位等自动分析功能；
- e) 相控阵超声检测仪具备线扫描和扇扫描；A 型显示、B 型显示、C 型显示和 S 型显示；并能进行存储和视频回放或数据外部存储。记录数据为真实数据；
- f) 相控阵超声检测仪的 A 扫描数字采样频率至少 5 倍于可能使用的最高探头标称频率，信号幅度的数字化分辨力至少为 8 位（256 级）；
- g) 在任意角度下，相控阵超声检测仪应能对目标反射体在固定声程传播路径的回波信号幅值进行平均化（角度修正增益 ACG 补偿楔块中的声波衰减和回波透射）；
- h) 相控阵超声检测仪应具备信号通过时基的幅度补偿功能（时间修正增益）。

4.2.2.2 探头

线阵探头中心频率范围一般为 $0.5\text{MHz}\sim 10\text{MHz}$ ，阵元数一般为 $4\sim 256$ ，探头阵元以及楔块参数应满足 JB/T 11731 附录 B 和附录 C 的要求，其他性能指标应符合本标准附录 B 的要求，应提供相应的证明文件，测试方法按 JB/T 11731 的规定。

4.2.2.3 仪器和探头的组合性能

4.2.2.3.1 以下情况时应测定仪器和探头的组合性能：

- a) 新购置的相控阵超声仪器和（或）探头；
- b) 仪器和探头在维修或更换主要部件后；

c) 检测人员有怀疑时。

4.2.2.3.2 显示高度线性偏差不大于 2%，幅度控制线性偏差不大于 2%，时基线性偏差不大于 0.5mm。

4.2.2.3.3 任意连续 20dB，衰减器累积误差不大于 1.7dB；任意连续 60dB，衰减器累积误差不大于 3.0dB。

4.2.2.3.4 采用频率为 5MHz 的相控阵超声探头，仪器和探头的组合频率与探头标称频率之间偏差不得大于 ±10%。

4.2.2.3.5 采用频率为 5MHz 的相控阵超声探头，扇扫成像横向分辨力和纵向分辨力不大于 2mm。

4.2.2.3.6 采用频率为 5MHz 的相控阵超声探头，扇扫角度范围测量偏差一般不超过 ±3°；扇扫角度分辨力不大于 2.5°。

4.2.2.3.7 仪器和探头的显示高度线性、幅度控制线性和时基线性的测试方法按 GB/T 23902 的规定，组合频率的测试方法按 JB/T 10062 的规定，其他组合性能的测试方法按 JJF 1338 的规定。

4.2.3 扫查装置

4.2.3.1 扫查装置一般包括探头夹持部分、驱动部分、导向部分及位置传感器。

4.2.3.2 探头夹持部分应能调整和设置探头位置，在扫查时保持探头相对距离和相对角度不变。

4.2.3.3 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。

4.2.3.4 驱动部分可以采用马达或人工驱动。

4.2.3.5 扫查装置中的位置传感器，其位置分辨力应符合本标准的工艺要求。

4.2.4 试块

4.2.4.1 标准试块

4.2.4.1.1 标准试块是指具有规定的化学成分、表面粗糙度、热处理及几何形状的材料块，用于评定和校准相控阵超声检测设备，即用于仪器探头系统性能校准的试块。本部分采用的标准试块为 CSK- I A、半圆试块、专用线性试块、A 型相控阵试块和 B 型相控阵试块。

4.2.4.1.2 CSK- I A 试块的具体形状、尺寸见 NB/T 47013.3，其他试块示意图见本部分，半圆试块见图 5、专用线性试块见图 6、A 型相控阵试块见图 7、B 型相控阵试块见图 8。

4.2.4.1.3 专用线性试块的制造满足本部分要求，其他标准试块的制造应满足 JB/T 8428 的要求，制造商应提供产品质量合格证，并确保在相同测试条件下比较其所制造的每一标准试块与国家标准样品或类似具备量值传递基准的标准试块上的同种反射体（面）时，其最大反射波幅差应小于或等于 2dB。

4.2.4.2 对比试块

4.2.4.2.1 对比试块是指与被检件化学成分相似，含有意义明确的参考反射体（反射体应采用机加工方式制作）的试块，用以调节超声检测设备的幅度和声程，以将所检出的缺陷信号与已知反射体所产生的信号相比较，即用于检测校准的试块。

4.2.4.2.2 对比试块的外形尺寸应能代表被检件的特征，试块厚度应与被检件的厚度相对应。如果涉及不同工件厚度对接接头的检测，试块厚度的选择应由较大工件的厚度确定。

4.2.4.2.3 对比试块应采用与被检件声学性能相同或相似的材料制成，当采用直探头检测时，不得有大于或等于 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔当量直径的缺陷。

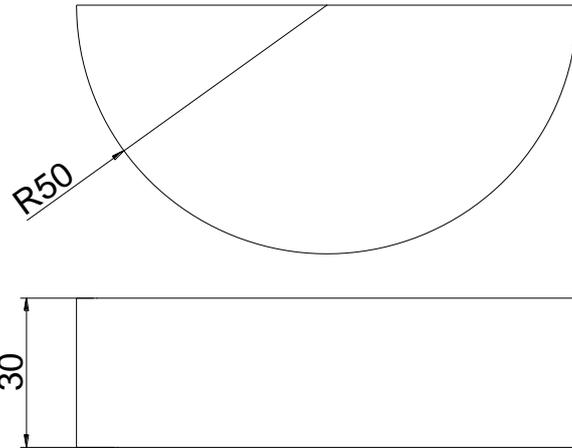
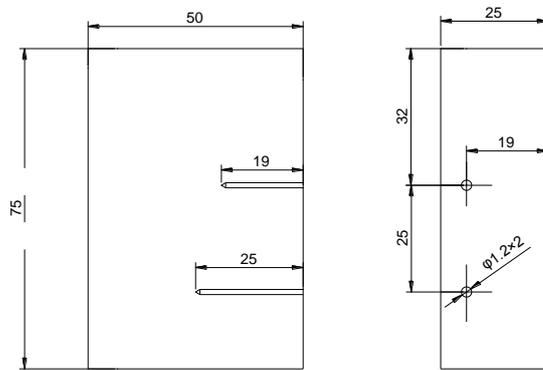


图5 半圆试块



注：材质为铝，孔内塞住不溶于水的塑料件。

图6 专用线性试块

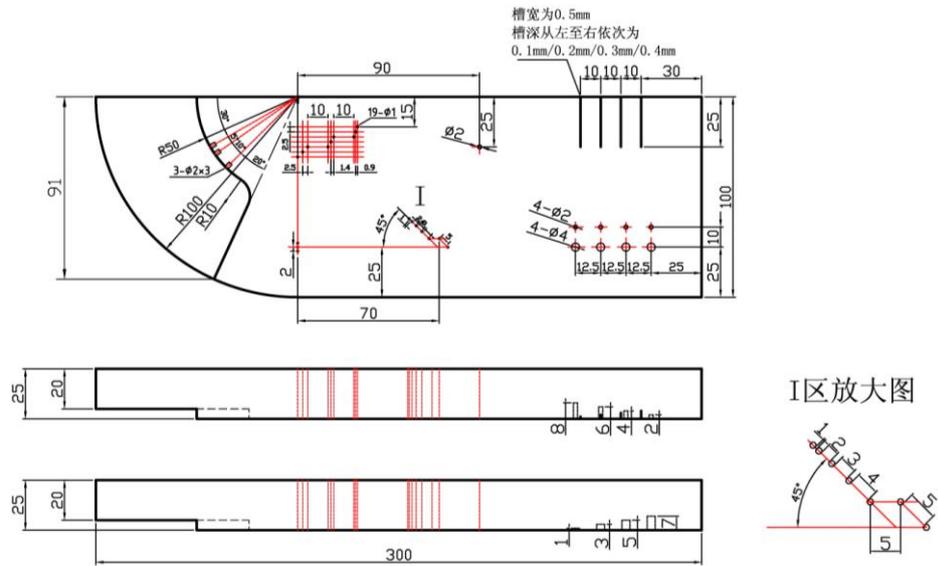


图7 A型相控阵试块示意图

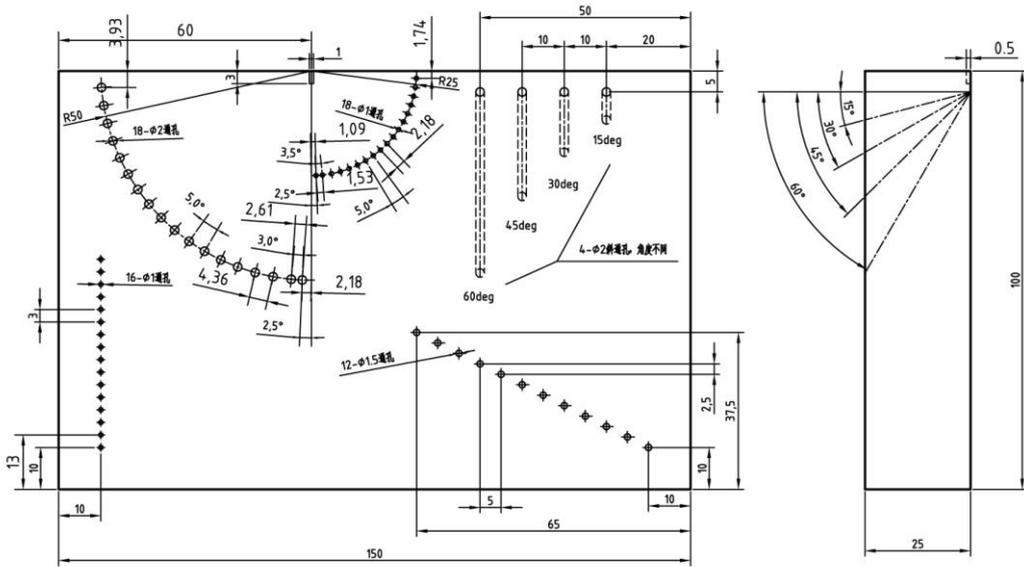


图 8 B 型相控阵试块示意图

4.2.4.2.4 不同被检件超声检测用对比试块人工反射体的形状、尺寸和数量应符合本部分相关章节的规定。

4.2.4.2.5 对比试块的尺寸精度在本部分有明确要求时应提供相应的证明文件，无明确要求时参照 JB/T 8428 的规定。

4.2.4.3 模拟试块

4.2.4.3.1 模拟试块是指含有模拟缺陷的试块，主要用于焊接接头相控阵超声检测工艺的验证。

4.2.4.3.2 模拟试块的厚度应与被检件相同。检测曲面工件时，模拟试块的曲率半径应符合以下规定：

- a) 对于检测面直径大于或等于 32mm、小于或等于 159mm 的工件，工件曲率半径应为模拟试块曲率半径的 0.9 倍~1.1 倍；
- b) 对于检测面直径大于 159mm、小于 500mm 的工件，工件曲率半径应为模拟试块曲率半径的 0.9 倍~1.5 倍；
- c) 对于检测面直径大于或等于 500mm 时，模拟试块可以采用相同曲率半径的材料制作，也可以采用平面材料制作。

4.2.4.3.3 模拟试块应满足下列要求：

- a) 模拟试块中的模拟缺陷应采用焊接方法制备或使用以往检测中发现的真实缺陷。其缺陷类型为被检件中易出现的典型焊接缺陷，主要包括裂纹、未熔合和未焊透等，其中至少有一处横向缺陷；
- 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 22 的规定，但缺陷长度的最小值为 10mm；
- d) 若一块模拟试块中未完全包含上述缺陷，可由多块同范围的模拟试块组成。

4.2.5 耦合剂

4.2.5.1 应采用透声性较好且不损伤被检件表面的耦合剂，如机油、化学浆糊、甘油和水等。

4.2.5.2 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。

4.2.5.3 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。

4.2.6 相控阵超声仪器和探头校准、核查、运行核查和检查的要求

4.2.6.1 校准、核查和运行核查应在标准试块上进行，校准时应使探头主声束垂直对准反射体的反射面，以获得稳定和最大的反射信号。

4.2.6.2 校准或核查

每年至少对超声仪器和探头组合性能中的显示高度线性、幅度控制线性、时基线性、衰减器精度、组合频率、扇扫成像横向分辨力和纵向分辨力、扇扫角度范围以及扇扫角度分辨力进行一次校准并记录，测试要求应满足 4.2.2.3 的规定。

4.2.6.3 运行核查

4.2.6.3.1 相控阵超声检测仪每隔 6 个月至少对仪器和探头组合性能中的显示高度线性、幅度控制线性、时基线性进行一次运行核查并记录，测试要求应满足 4.2.2.3 的规定。

4.2.6.3.2 每隔 1 个月至少对阵元有效性进行一次核查，在相控阵探头中允许存在失效阵元，但失效阵元数量不得超过相控阵探头阵元总数的 1/4，且不得出现相邻阵元连续失效。

4.2.6.4 检查

4.2.6.4.1 每次检测前应检查仪器设备器材外观、线缆连接和开机信号显示等情况是否正常。

4.2.6.4.2 每次检测前应对位置传感器进行检查和记录，检查方式是使带位置传感器的扫查装置至少移动 500mm，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%。

4.2.6.5 校准、核查、运行核查和检查时的注意事项

校准、核查、运行核查和检查时，应将影响仪器线性的控制器（如抑制或滤波开关等）均置于“关”的位置或处于最低水平上。

4.3 检测工艺文件

4.3.1 检测工艺文件包括工艺规程和作业指导书。

4.3.2 工艺规程除满足 NB/T 47013.1 的要求外，还应规定表 1 和相关章节所列相关因素的具体范围或要求。相关因素的变化超出规定时，应重新编制或修订工艺规程。

表 1 相控阵超声检测工艺规程涉及的相关因素

序号	相关因素的内容
1	被检件类型和几何形状，包括工件规格、厚度、尺寸和产品形式等
2	检测面要求
3	检测技术（直入射线扫描、斜入射线扫描、扇扫描、直接接触法、液浸法及扫描波型等）
4	检测仪器类型
5	相控阵探头类型及参数（阵元高度和宽度、间隙、数量）
6	楔块尺寸及角度
7	聚焦范围（深度或声程）
8	激发孔径尺寸（激发阵元数量、激发孔径长度和宽度）

表 1（续）

序号	相关因素的内容
9	楔块尺寸及角度
10	扫描类型（线扫描或扇扫描）
11	耦合剂类型
12	校准（试块及校准方法）
14	扫查方向及扫查范围
15	扫查方式（平行线扫查或锯齿形扫查）
16	附加检测（如需要）及要求
17	自动报警和或记录装置（用到时）
18	人员资格要求；检测报告要求
19	检测数据的分析和解释
20	验收级别（质量等级）

4.3.3 应根据工艺规程的内容以及被检件的检测要求编制操作指导书。其内容除满足 NB/T 47013.1 的要求外，至少还应包括：

- a) 检测技术要求：直入射线扫描、斜入射线扫描、扇扫描、直接接触法、水浸法及扫描波型（横波、纵波）等；
- b) 检测设备和器材：检测设备、探头、楔块、耦合剂、扫查装置、试块名称和规格型号，工作性能检查的项目、时机和性能指标；
- c) 检测工艺参数：包括检测覆盖区域、探头及楔块的参数设置、扫查方法及扫描类型、扫查面准备、探头位置等，以及检测系统的设置（激发与接收单元的阵列孔径、入射角度、扫查角度范围、扫查角度步进、聚焦方式及位置、一次波与多次波反射、灵敏度等）和校准（灵敏度、位置传感器等）方法，横向缺陷的检测方法（必要时）。

4.3.4 操作指导书的工艺验证

4.3.4.1 操作指导书在首次应用前应进行工艺验证，验证的内容和方式应满足相关章节的规定。

4.3.4.2 经合同双方同意，工艺验证可使用经过认证的相控阵超声仿真软件进行。

4.4 安全要求

检测场所、环境及安全防护应符合 NB/T 47013.1 的规定。

4.5 检测实施

4.5.1 检测准备

4.5.1.1 在承压设备的制造、安装及在用检验中，相控阵超声检测时机及检测比例的选择应符合相关法规、标准及有关技术文件的规定。

4.5.1.2 所确定的检测面应保证工件被检部分能得到充分检测。

4.5.1.3 焊缝的表面质量应经外观检查合格。检测面（探头经过的区域）上所有影响检测的油漆、锈蚀、飞溅和污物等均应予以清除，其表面粗糙度应符合检测要求。表面的不规则状态不应影响检测结果的有效性。

4.5.2 扫查方式和扫描方式的选择

4.5.2.1 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。

4.5.2.2 电子扫描方式分为扇扫描和线扫描，机械扫查方式分为平行线扫查、斜向扫查及手动锯齿形扫查，检测过程中扫描方式和扫查方式可结合同时进行。

4.5.2.3 平行线扫查、斜向扫查等一般结合扇扫描或线扫描并配合与探头相连的位置传感器进行。

4.5.2.4 手动锯齿形扫查一般结合扇扫描或线扫描进行，可不用连接位置传感器。

4.5.3 扫查速度

4.5.3.1 手动锯齿形扫查时，探头移动速度不超过 150mm/s。

4.5.3.2 采用平行线扫查、斜向扫查等扫查方式时，应保证扫查速度小于或等于最大扫查速度 v_{\max} ，同时应满足耦合效果和数据采集的要求。

最大扫查速度按式（1）计算：

$$v_{\max} = \frac{\text{PRF}}{N \times M} \Delta X \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

v_{\max} ——最大扫查速度，mm/s；

PRF——脉冲重复频率，Hz；

$$\text{PRF} < c/2S$$

c ——声速，mm/s；

S ——最大检测声程，mm。

N ——设置的信号平均次数；

M ——延迟法则的数量（如扇扫描时，角度范围为 $40^\circ \sim 70^\circ$ ，角度步进为 1° ，则 $M=31$ ；线扫描时，总体晶片数量 64 个，激发晶片数量 16 个，扫查步进为 1，则 $M=49$ ）；

ΔX ——设置的扫查步进值，mm。

4.5.4 扫查覆盖

4.5.4.1 扇扫描所使用的声束角度步进最大值为 1° 或能保证相邻声束重叠至少为 50%。

4.5.4.2 线扫描相邻激发孔径之间的重叠，至少应为激发孔径长度的 50%。

4.5.4.3 平行线扫查时，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 20mm。需要多个平行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线扫描激发孔径长度或扇扫描声束宽度的 10%。

4.5.4.4 锯齿形扫查时，相邻 2 次探头移动间隔应不超过阵元高度度 (w) 的 50%。

4.5.5 扫查步进的设置

扫查步进是指扫查过程中相邻 2 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 2 的规定进行设置。

表 2 扫查步进值的设置

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

4.5.6 图像显示

4.5.6.1 扫查数据以 A 型信号显示及图像形式显示，图像可用 B 型显示、C 型显示、D 型显示、S 型显示及 P 型显示等形式，也可增加 TOFD 显示。

4.5.6.2 在扫查数据的图像中应有位置信息。

4.5.7 扫查灵敏度

扫查灵敏度的设置应符合相关章节的规定。

4.5.8 灵敏度补偿

4.5.8.1 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。

4.5.8.2 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。

4.5.8.3 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。

4.5.9 延迟法则

根据所采用的扫查方式确定，设置时应考虑如下因素：

- a) 阵元参数：标称频率、阵元数量、阵元宽度、阵元间隙及阵元高度；
- b) 楔块参数：楔块尺寸、楔块角度及楔块声速；
- c) 阵元数量：设定延迟法则使用的阵元数量；
- d) 阵元位置：设定激发阵元的起始位置；
- e) 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；
- f) 距离参数：设定在工件中的声程或深度；
- g) 声速参数：设定在工件中的声速，例如横波声速、纵波声速；
- h) 工件厚度：设定被检件的厚度；
- i) 探头位置：设定探头前端距或扫查起始位置；
- j) 采用聚焦声束检测时，应合理设定聚焦声程或深度。

4.5.10 耦合监控的设置

4.5.10.1 耦合监控的设置方法由使用的相控阵超声设备而定。在被检件或与被检件特征相同的试块上调试耦合监控，将最大波调整到满屏高度的 80%（误差为 $\pm 5\%$ ），在此基础上提高 6dB，即为耦合监控的灵敏度。

4.5.10.2 耦合监控的方式一般分为图像显示监控和铃声报警监控两种方式。平行线扫查宜采用图像显示进行耦合监控；锯齿形扫查采用铃声报警方式进行耦合监控。

4.5.11 温度

4.5.11.1 应确保在规定的温度范围内进行检测；采用常规探头和耦合剂时，被检件的表面温度

应控制在 $0^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ；超出该温度范围，可采用特殊探头或耦合剂。

4.5.11.2 若温度过低或过高，一般应采取有效措施避免。若无法避免，应评价其对检测结果的影响。

4.5.11.3 检测系统设置和校准时的温度与实际检测温度之差应控制在 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ 之内。

4.5.12 检测系统的复核

4.5.12.1 复核时机

在如下情况时应进行复核：

- a) 检测过程中仪器或探头更换；
- b) 检测过程更换耦合剂；
- c) 检测人员怀疑时；
- d) 连续工作 4 小时以上；
- e) 检测结束时。

4.5.12.2 复核要求

4.5.12.2.1 相控阵探头楔块磨损程度的复核

楔块角度的实测值与标称偏差范围应控制在 $-1^{\circ}\sim +1^{\circ}$ ，若超出此范围，应对楔块进行修磨或更换楔块。

4.5.12.2.2 灵敏度和检测范围的复核

复核时用的参考试块应与初始设置时的参考试块相同。若复核时发现偏离初始设置时的参数值，应按表 3 的要求进行修正。

4.5.12.2.3 位置传感器的复核

位置传感器的复核应符合 4.2.8.4 的规定，当检测设备所显示的位移和实际位移的误差应 $\geq 1\%$ 时，应对上次设置以后所检测的位置进行修正。

表 3 偏离和纠正

类 型	偏 差	纠 正
灵敏度	$\leq 3\text{dB}$	不需要采取措施，必要时可由软件纠正
	$> 3\text{dB}$	重新检测上次设置后所检测的部位
检测范围	工偏离 $\leq 1\text{mm}$	不需要采取措施
	偏离 $> 1\text{mm}$	找出原因重新设置。若在检测中或检测后发现，则纠正后重新检测上次校准后所检测的部位
备注	灵敏度复核时，一般选取最佳角度的曲线，不得少于 3 点	

4.6 检测数据的分析和解释

4.6.1 检测数据的有效性

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

- a) 数据是基于扫查步进的设置而采集的；
- b) 采集的数据量应满足所检测长度的要求；
- c) 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；
- d) 扫查图像中耦合不良不得超过整个扫查的 5%，单个耦合不良长度不得超过 2mm。

4.6.1.2 若数据无效，应纠正后重新进行扫查。

4.6.2 显示的分类

4.6.2.1 检测结果的显示分为相关显示和非相关显示。

4.6.2.2 分析有效数据是否存在相关显示，对于相关显示应进行缺陷定量和评定。

5 承压设备用原材料或零部件的相控阵超声检测方法和质量分级

5.1 范围

本章规定了承压设备用原材料或零部件的相控阵超声检测方法和质量分级。

5.2 承压设备用原材料或零部件的相控阵超声检测工艺文件

原材料或零部件的相控阵超声检测工艺文件除了应满足 4.3 的要求之外，还应包括表 4 所列的相关因素。

表 4 原材料或零部件超声检测工艺规程涉及的相关因素

序号	相关因素的内容
1	产品形式（板材、管材、锻件等）
2	检测时机（如热处理前或后）
3	检测范围
4	质量验收等级

5.3 承压设备用板材相控阵超声检测方法和质量分级

5.3.1 范围

5.3.1.1 本条适用于板厚 6mm~250mm 的碳素钢、低合金钢制承压设备用板材的相控阵超声检测方法和质量分级。

5.3.1.2 铝及铝合金板材、钛及钛合金板材、镍及镍合金板材和铜及铜合金板材的相控阵超声检测方法参照本条执行，质量分级按本条。

5.3.1.3 奥氏体不锈钢和奥氏体-铁素体双相不锈钢板材相控阵超声检测方法可参照本条执行，质量分级按本条。

5.3.2 检测原则

5.3.2.1 一般采用纵波直入射进行检测。

5.3.2.2 在检测过程中对缺陷有疑问或合同双方技术协议中有规定时，可采用横波斜入射进行检测。

5.3.2.3 可选板材的任一轧制表面进行检测。若检测人员认为需要或技术条件有要求时，也可选板材的上、下两轧制表面分别进行检测。

5.3.3 探头及楔块的选用

5.3.3.1 探头的标称频率为 2MHz~5MHz。

5.3.3.2 阵元数要根据被检件厚度选择，纵波直入射时，单次激发的阵元数量不得少于 4 个。横波斜入射法时，单次激发的阵元数不得少于 16 个。与工件厚度有关的相控阵探头参数的选择可参考表 5。

表 5 承压设备用板材相控阵超声检测探头参数选择推荐表

板厚/mm	标称频率/MHz	激发孔径/mm
6~20	4~5	6~10
>20~60	2~5	7~15
>60	2~5	15~23

注：在满足穿透的情况下，尽可能选择主动孔径小的探头。

5.3.3.3 采用纵波直入射时可采用 0°楔块或不用楔块。

5.3.4 延迟法则设置

5.3.4.1 延迟法则按照 4.5.9 的要求设置；

5.3.4.2 聚焦位置的设置要求如下：

- a) 初始扫查一般不聚焦，并应避免在近场区内。当被检件厚度 $6\text{mm} \leq T \leq 20\text{mm}$ 时，可采用 0°楔块或者水浸法避开近场区；
- b) 在对缺陷进行精确定量时，或对特定区域检测需要获得更高的灵敏度和分辨力时，可将焦点设置在该区域。

5.3.5 对比试块

5.3.5.1 检测厚度不大于 20mm 的板材时，采用 NB/T 47013.3 所述的阶梯平底试块。

5.3.5.2 检测厚度大于 20mm 的板材时，采用 NB/T 47013.3 所述的承压设备用板材超声检测用对比试块。

5.3.6 灵敏度的确定

5.3.6.1 板厚小于或等于 20mm 时，用阶梯平底试块调节，也可用被检板材无缺陷完好部位调节，此时用与工件等厚部位试块或被检板材的第一次底波调整到满刻度的 50%，再提高 10dB 作为基准灵敏度。

5.3.6.2 板厚大于 20mm 时，按所用探头和仪器在 $\phi 5\text{mm}$ 平底孔试块上绘制距离-波幅曲线，并以此曲线作为基准灵敏度。

5.3.6.3 如能确定板材底面回波与不同深度 $\phi 5\text{mm}$ 平底孔反射波幅度之间的关系，则可采用板材无缺陷完好部位第一次底波来调节基准灵敏度。

5.3.6.4 扫查灵敏度一般应比基准灵敏度高 6dB。

5.3.7 检测

5.3.7.1 耦合方式

耦合方式可采用直接接触法或液浸法。

5.3.7.2 灵敏度补偿

检测时应根据实际情况进行耦合补偿和衰减补偿。

5.3.7.3 扫查方式和扫描方式的选择

优先选择机械扫查+线扫描，扫描角度为 0°。具体扫查区域如下：

- a) 在板材边缘或剖口预定线两侧范围内应作 100%扫查，扫查区域宽度见表 6；
- b) 在板材中部区域，探头沿垂直于板材压延方向、间距不大于 50mm 的平行线进行扫查，或探头沿垂直和平行板材压延方向且间距不大于 100mm 格子线进行扫查。扫查示意图见图 9；
- c) 根据合同、技术协议书或图样的要求，也可采用其他形式的扫查。

表6 板材边缘或剖口预定线两侧区域宽度

单位为 mm

板 厚	区 域 宽 度
<60	50
≥60~100	75
≥100	100

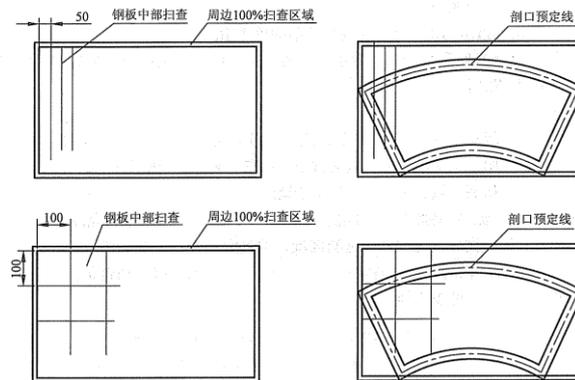


图9 探头扫查示意图

5.3.7.4 横波斜入射检测按附录 D 的规定进行。

5.3.8 缺陷的判定和定量

5.3.8.1 在检测基准灵敏度条件下，发现下列两种情况之一即作为缺陷：

- 缺陷第一次反射波（F1）波幅高于距离-波幅曲线；
- 底面第一次反射波（B1）波幅低于显示屏满刻度的 50%，即 $B1 < 50\%$ 。

5.3.8.2 缺陷的定量

5.3.8.2.1 使缺陷第一次反射波幅降至距离-波幅曲线时的 C 型显示的图像边界即为缺陷边界。

5.3.8.2.2 确定 5.3.8.1 b) 中缺陷的边界范围时，使底面第一次反射波上升到基准灵敏度条件下显示屏满刻度的 50% 或上升到距离-波幅曲线时的 C 型显示的图像边界即为缺陷边界。

5.3.8.2.3 缺陷边界范围确定后，用一边平行于板材压延方向的矩形框包围缺陷，其长边作为缺陷的长度，矩形面积则为缺陷的指示面积。

5.3.8.2.4 移动探头以获得缺陷的最大波幅，记录缺陷的最大反射波幅或当量平底孔直径。

5.3.9 缺陷尺寸的评定方法

5.3.9.1 缺陷指示长度的评定规则

用平行于板材压延方向的矩形框包围缺陷，其长边作为该缺陷的指示长度。

5.3.9.2 单个缺陷指示面积的评定规则

- 一个缺陷按其指示的矩形面积作为该缺陷的单个指示面积；
- 多个缺陷其相邻间距小于相邻较小缺陷的指示长度时，按单个缺陷处理，缺陷指示面积为各缺陷面积之和。

5.3.10 板材质量分级

5.3.10.1 板材质量分级见表 7 和表 8。在具体进行质量分级时，表 7 和表 8 应独立使用。

表7 承压设备用板材中部检测区域纵波直入射检测质量分级 单位为 mm

等级	最大允许单个缺陷指示面积 S 或当量平底孔直径 D	在任一 $1\text{m}\times 1\text{m}$ 检测面积内缺陷最大允许个数	
		单个缺陷指示面积或当量平底孔直径评定范围	最大允许个数
I	$S\leq 50$ 或 $D\leq \phi 5+8\text{dB}$	$20<S\leq 50$ 或 $\phi 5<D\leq \phi 5+8\text{dB}$	10
II	$S\leq 100$ 或 $D\leq \phi 5+14\text{dB}$	$50<S\leq 100$ 或 $\phi 5+8\text{dB}<D\leq \phi 5+14\text{dB}$	10
III	$S\leq 1000$	$100<S\leq 1000$	15
IV	$S\leq 5000$	$1000<S\leq 5000$	20
V	超过IV级者		

5.3.10.2 在检测过程中,检测人员如确认板材中有白点、裂纹等缺陷存在时,应评为V级。

5.3.10.3 在板材中部检测区域,按最大允许单个缺陷指示面积和任一 $1\text{m}\times 1\text{m}$ 检测面积内缺陷最大允许个数确定质量等级。如整张板材中部检测面积小于 $1\text{m}\times 1\text{m}$,缺陷最大允许个数可按比例折算。

5.3.10.4 在板材边缘或剖口预定线两侧检测区域,按最大允许单个缺陷指示长度、最大允许单个缺陷指示面积和任一 1m 检测长度内最大允许缺陷个数确定质量等级。如整张板材边缘检测长度小于 1m ,缺陷最大允许个数可按比例折算。

表8 承压设备用板材边缘或剖口预定线两侧检测区域纵波直入射检测质量分级

单位为 mm

等级	最大允许单个缺陷指示长度 L_{max}	最大允许单个缺陷指示面积 S 或当量平底孔直径 D	在任一 1m 检测长度内缺陷最大允许个数	
			单个缺陷指示长度 L 或当量平底孔直径评定范围	最大允许个数
I	≤ 20	$S\leq 50$ 或 $D\leq \phi 5+8\text{dB}$	$10<L\leq 20$ 或 $\phi 5<D\leq \phi 5+8\text{dB}$	2
II	≤ 30	$S\leq 100$ 或 $D\leq \phi 5+14\text{dB}$	$15<L\leq 30$ 或 $\phi 5+8\text{dB}<D\leq \phi 5+14\text{dB}$	3
III	≤ 50	$S\leq 1000$	$25<L\leq 50$	5
IV	≤ 100	$S\leq 2000$	$50<L\leq 100$	6
V	超过IV级者			

5.4 承压设备用复合板相控阵超声检测方法和质量分级

5.4.1 范围

5.4.1.1 本条适用于基材厚度大于或等于 6mm 的承压设备用不锈钢-钢、钛-钢、铝-钢、镍-钢及铜-钢复合板的相控阵超声检测和质量分级。

5.4.1.2 本条主要用于复合板基材与覆材界面相结合状态的相控阵超声检测。

5.4.2 检测原则

一般可从基材侧检测,也可选择从覆材侧进行检测。

5.4.3 探头及楔块的选用

5.4.3.1 探头的标称频率为 $2\text{MHz}\sim 5\text{MHz}$ 。

5.4.3.2 激发阵元数要根据被检件厚度选择,纵波直入射时,单次激发的阵元数量不得少于 4 个。探头激发孔径应控制在 $10\text{mm}\sim 25\text{mm}$ 范围内。

5.4.3.3 采用纵波直入射时可采用 0°楔块或不用楔块。

5.4.4 延迟法则设置

5.4.4.1 延迟法则按照 4.5.9 的要求设置。

5.4.4.2 从基材侧检测时，聚焦深度为基材厚度；从覆材侧检测时，聚焦深度为覆材厚度。

5.4.5 灵敏度的确定

5.4.5.1 将探头置于复合板完全结合部位，调节第一次底面回波高度为显示屏满刻度的 80%，以此作为基准灵敏度。

5.4.5.2 扫查灵敏度一般应比基准灵敏度高 6dB。

5.4.6 检测

5.4.6.1 耦合方式

耦合方式可采用直接接触法或液浸法。

5.4.6.2 扫查方式

优先选择机械扫查+线扫描，扫查区域要求如下：

- a) 在复合板边缘或剖口预定线两侧范围内应作 100%扫查，扫查区域宽度见表 6；
- b) 在复合板中部区域，探头沿垂直于基材压延方向，间距不大于 50mm 的平行线进行扫查，或探头沿垂直和平行基材压延方向且间距不大于 100mm 格子线进行扫查。扫查示意图见图 8；
- c) 根据合同、技术协议书或图样的要求，也可采用其他形式的扫查。

5.4.7 未结合区的测定

第一次底面回波高度低于显示屏满刻度的 5%，且明显有未结合缺陷回波存在时（回波高度 \geq 5%），该部位则为未结合缺陷区。移动探头，使第一次底面回波升高到显示屏满刻度的 40%，以此时 C 型显示的图像边界作为未结合的边界。

5.4.8 未结合的评定方法

5.4.8.1 未结合指示长度的评定规则

确定未结合的边界后，用一边平行于板材压延方向矩形框包围该未结合，长边作为其指示长度。若单个未结合的指示长度小于 25mm 时，可不作记录。

5.4.8.2 单个未结合面积的评定规则

- a) 一个未结合按其指示的矩形面积作为其单个未结合面积；
- b) 多个未结合其相邻间距小于 20mm 时，按单个未结合处理，其面积为各个未结合面积之和。

5.4.8.3 未结合率的评定

任一 1m×1m 检测面积内，按未结合区面积所占百分比来确定。

5.4.9 质量分级

5.4.9.1 在复合板边缘或剖口预定线两侧作 100%扫查的区域内，未结合的指示长度大于或等于 25mm 时，定级为 IV 级。

5.4.9.2 复合板质量分级按表 9 的规定。

表 9 复合板相控阵超声检测质量分级

等级	单个未结合指示长度/mm	单个未结合面积/cm ²	未结合率/%
I	0	0	0
II	≤50	≤20	≤2
III	≤75	≤45	≤5
IV	大于III级者		

5.5 承压设备用碳钢和低合金钢锻件相控阵超声检测方法和质量分级

5.5.1 范围

5.5.1.1 本条适用于承压设备用碳钢和低合金钢锻件的相控阵超声检测方法和质量分级。

5.5.1.2 本条不适用于内外半径之比小于 65%的环形和筒形锻件的周向横波斜入射检测。

5.5.2 检测原则

5.5.2.1 检测一般应安排在热处理后，孔、台等结构机加工前进行，检测面的表面粗糙度 $Ra \leq 6.3\mu\text{m}$ 。

5.5.2.2 锻件一般应使用纵波直入射进行检测，对筒形和环形锻件还应增加横波斜入射检测。

5.5.2.3 检测厚度小于或等于 45mm 时，应采用纵波斜入射双晶激发模式进行，入射角度根据聚焦位置确定。检测厚度大于 45mm 时，一般采用纵波直入射单晶激发模式进行。

5.5.2.4 锻件检测方向厚度超过 400mm 时，应从相对两端面进行检测。

5.5.3 探头和楔块的选择

5.5.3.1 探头的标称频率应在 1MHz~5MHz 范围内。

5.5.3.2 激发阵元数要根据被检件厚度选择，纵波直入射时，单次激发的阵元数量不得少于 4 个，小角度纵波扇形扫描和横波斜入射扇形扫描时，单次激发的阵元数量不得少于 16 个。探头激发孔径应控制在 8mm~40mm 范围内。

5.5.3.3 探头与被检件应保持良好的接触，遇有以下情况时，应采用曲面试块调节检测范围和基准灵敏度：

a) 在凸表面上纵向（轴向）扫查时，探头楔块宽度大于检测面曲率半径的 1/5；

b) 在凸表面上横向（周向）扫查时，探头楔块长度大于检测面曲率半径的 1/5。

5.5.3.4 采用纵波直入射时可采用 0°楔块或不用楔块，横波斜入射检测时，楔块根据被检件选择。

5.5.4 延迟法则设置

5.5.4.1 延迟法则按照 4.5.9 的要求设置。

5.5.4.2 初始扫查一般不聚焦，在对缺陷进行精确定量时，或对特定区域检测需要获得更高的灵敏度和分辨力时，可将焦点设置在该区域。

5.5.5 对比试块

5.5.5.1 对比试块应符合 4.2.4.2 的规定。

5.5.5.2 对比试块可由以下材料之一制成：

a) 被检材料的多余部分（尺寸足够时）；

b) 与被检材料同钢种、同热处理状态的材料；

c) 与被检材料具有相同或相似声学特性的材料。

5.5.5.3 纵波直入射单晶模式直探头对比试块

采用 CS-2 试块调节基准灵敏度，其形状和尺寸应符合 NB/T 47013.3 的规定。如确需要也可以采用其他对比试块。

5.5.5.4 纵波斜入射双晶模式对比试块：

- a) 工件检测厚度小于 45mm 时，应采用 CS-3 对比试块；
- b) CS-3 试块的形状和尺寸应符合 NB/T 47013.3 的规定。

5.5.5.5 工件检测面曲率半径小于或等于 250mm 时，应采用曲面对比试块（试块曲率半径在工件曲率半径的 0.7 倍~1.1 倍范围内）调节基准灵敏度，或采用 CS-4 对比试块来测定由于曲率不同而引起的声能损失，其形状和尺寸符合 NB/T 47013.3 的规定。

5.5.6 灵敏度的确定

5.5.6.1 纵波直入射单晶模式基准灵敏度的确定

使用 CS-2 或 CS-4 试块，依次测试一组不同检测距离的 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔（至少 3 个），制作距离-波幅曲线，并以此作为基准灵敏度。当被检部位的厚度大于或等于探头的 3 倍近场区长度，且检测面与底面平行时，也可以采用底波计算法确定基准灵敏度。

5.5.6.2 纵波斜入射双晶模式基准灵敏度的确定

使用 CS-3 试块，依次测试一组不同检测距离的 $>2\text{mm}$ 平底孔（至少 3 个），制作距离-波幅曲线，并以此作为基准灵敏度。

5.5.6.3 扫查灵敏度一般应比基准灵敏度高 6dB。

5.5.7 检测

5.5.7.1 耦合方式

耦合方式一般采用直接接触法。

5.5.7.2 灵敏度补偿

检测时应根据实际情况进行耦合补偿、衰减补偿和曲面补偿。

5.5.7.3 工件材质衰减系数的测定：

- a) 在工件无缺陷完好区域，选取三处检测面与底面平行且有代表性的部位，调节仪器使第一次底面回波幅度（ B_1 ）或第 n 次底面回波幅度（ B_n ）为满刻度的 50%，记录此时仪器增益或衰减器的读数，再调节仪器增益或衰减器，使第二次底面回波幅度或第 m 次底面回波幅度（ B_2 或 B_m ）为满刻度的 50%，两次增益或衰减器读数之差即为（ B_1-B_2 ）或（ B_n-B_m ）（不考虑底面反射损失）。
- b) 工件厚度小于 3 倍的探头近场区长度（ $t < 3N$ ）时，衰减系数（满足 $n > 3N/t$, $m > n$ ）按式（2）计算：

$$\alpha = [(B_n - B_m) - 20 \lg(m/n)] / 2(m-n)t \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- α ——衰减系数，dB/m（单程）；
- $(B_n - B_m)$ ——两次底波增益或衰减器的度数之差，dB；
- t ——工件检测厚度，mm；
- N ——近场区长度，m；
- m, n ——底波反射次数。

- c) 工件厚度大于或等于 3 倍的探头近场区长度（ $t \geq 3N$ ）时，衰减系数按式（3）计算：

$$\alpha = [(B_1 - B_2) - 6] / 2t \dots\dots\dots (3)$$

式中：

($B_1 - B_2$) ——两次底波增益或衰减器的度数之差，dB；

其余符号意义同 b)。

d) 工件上三处衰减系数的平均值即作为该工件的衰减系数。

5.5.7.4 扫查方式

5.5.7.4.1 纵波直入射检测：

a) 移动探头从两个相互垂直的方向在检测面上作 100%扫查。主要检测方向如图 10 所示；

b) 根据合同、技术协议书或图样的要求，也可采用其他形式的扫查，如一定间隔的平行线或格子线扫查。

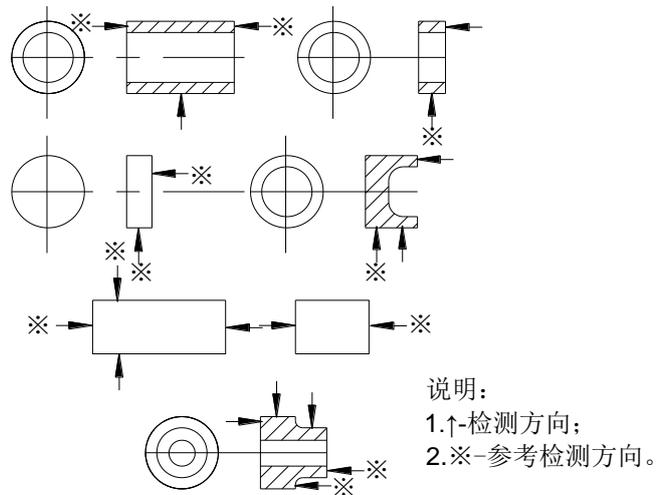


图 10 检测方向（垂直检测法）

5.5.7.4.2 横波斜入射检测

应按 NB/T 47013.3 附录 E 的要求进行。

5.5.8 缺陷当量的确定

5.5.8.1 当被检缺陷的深度大于或等于所用探头的 3 倍近场区时，可采用 AVG 曲线或计算法确定缺陷的当量。对于 3 倍近场区内的缺陷，可采用距离-波幅曲线来确定缺陷的当量。也可采用其他等效方法来确定。

5.5.8.2 当采用计算法确定缺陷当量时，若材质衰减系数超过 4dB/m，应进行修正。

5.5.8.3 当采用距离-波幅曲线来确定缺陷当量时，若对比试块与工件材质衰减系数差值超过 4dB/m，应进行修正。

5.5.9 质量分级等级评定

5.5.9.1 缺陷的质量分级见表 10。

5.5.9.2 当检测人员判定反射信号为白点、裂纹等危害性缺陷时，锻件的质量等级为 V 级。

表 10 锻件相控阵超声检测质量分级

等级	I	II	III	IV	V
单个缺陷当量平底孔尺寸	$\leq \phi 4$	$\leq \phi 4+6\text{dB}$	$\leq \phi 4+12\text{dB}$	$\leq \phi 4+18\text{dB}$	$> \phi 4+18\text{dB}$
由缺陷引起的底波降低量 BG/BF	$\leq 6\text{dB}$	$\leq 12\text{dB}$	$\leq 18\text{dB}$	$\leq 24\text{dB}$	$> 24\text{dB}$
密集区缺陷当量直径	$\leq \phi 2$	$\leq \phi 3$	$\leq \phi 4$	$\leq \phi 4+4\text{dB}$	$> \phi 4+4\text{dB}$
密集区缺陷面积占检测总面积 的百分比%	0	≤ 5	≤ 10	≤ 20	> 20
注 1: 由缺陷引起的底波降低量仅适用于声程大于近场区长度的缺陷。 注 2: 表中不同种类的缺陷分级应独立使用。 注 3: 密集区缺陷面积指反射波幅大于或等于 $\phi 2$ 当量平底孔直径的密集区缺陷。					

5.6 承压设备用奥氏体钢锻件超声检测方法和质量分级

5.6.1 范围

5.6.1.1 本条适用于承压设备用奥氏体钢锻件及奥氏体-铁素体双相不锈钢锻件的相控阵超声检测方法和质量分级。

5.6.1.2 承压设备用镍合金锻件的相控阵超声检测方法和质量分级参照本条执行。

5.6.2 检测原则

5.6.2.1 锻件原则上应在热处理后,加工成适合检测外形时,并在精加工前进行超声检测。

5.6.2.2 检测面粗糙度 $Ra \leq 6.3\mu\text{m}$,检测面应无氧化皮、漆皮、污物等。

5.6.2.3 一般应进行纵波直入射检测,对于结构复杂工件可采用小角度纵波扇扫描检测,对筒形锻件和环形锻件还应进行横波斜入射检测。

5.6.3 探头

5.6.3.1 探头的标称频率为 1MHz~2.5MHz。

5.6.3.2 探头的有效面积为 $300\text{mm}^2 \sim 625\text{mm}^2$ 。

5.6.3.3 采用横波斜入射时,扫描角度范围一般为 $35^\circ \sim 63^\circ$ 。

5.6.4 试块

5.6.4.1 一般情况下,对比试块采用 NB/T 47013.3 所述的试块。

5.6.4.2 对于结构复杂的工件,可以制定专用的对比试块,制作要求应符合 4.2.4 的要求。

5.6.5 延迟法则的设置

5.6.5.1 延迟法则按照 4.5.9 的要求设置;

5.6.5.2 聚焦位置的设置要求如下:

a) 初始扫描一般不聚焦,并应避免在近场区内;

b) 在对缺陷进行精确定量时,或对特定区域检测需要获得更高的灵敏度和分辨力时,可将焦点设置在该区域。

5.6.6 灵敏度的确定

5.6.6.1 当被检件厚度小于或等于 600mm 时,应根据订货锻件厚度和要求的质量等级,在适当厚度和当量直径的平底孔试块上校准,根据实测值做出距离-波幅曲线并以此作为基准灵敏度。

5.6.6.2 当被检件厚度大于 600mm 时,在锻件无缺陷部位将底波调整到满刻度的 80%,以此作为基准灵敏度。如检测面与底面反射面不平行,也可用 $\phi 13\text{mm}$ 平底孔试块做距离-波幅曲线并以此作为基准灵敏度。

5.6.6.3 扫查灵敏度应至少比基准灵敏度提高 6dB。

5.6.7 检测

5.6.7.1 耦合方式

耦合方式一般可采用直接接触法。

5.6.7.2 扫查方式和扫描方式的选择

优先选择机械扫查+线扫描，对于复杂工件检测时也可选择机械扫查+扇扫描。

5.6.7.3 灵敏度补偿

检测时应根据实际情况进行耦合补偿、衰减补偿和曲面补偿。

5.6.7.4 纵波直入射检测

5.6.7.4.1 锻件所有被检区域，均应尽可能从两个相互垂直的方向进行检测，检测距离至少为厚度的一半。

5.6.7.4.2 检测盘形或饼形锻件时，采用纵波直入射检测至少从一个平面进行检测，如有可能还应从圆周面进行扫查。

5.6.7.4.3 检测圆柱形锻件时，对于筒形锻件和环形锻件，可从整个外表面（侧面和圆周面）进行检测。当长度与直径之比超过 6 或轴向长度超过 600mm 时，应从两个端面以尽可能大的范围作轴向检测，如果由于衰减等原因，双端检测不能超过轴向长度的一半时，可用横波斜入射方式代替纵波直入射进行轴向检测。

5.6.7.5 横波斜入射检测

奥氏体钢锻件横波斜入射检测应按 NB/T 47013.3 附录 F 的要求进行。

5.6.8 缺陷记录

5.6.8.1 由于缺陷的存在，而使基准灵敏度下的底波降到满刻度 25%以下的部位。

5.6.8.2 缺陷波幅在距离-波幅曲线以上的部位。

5.6.9 质量分级

5.6.9.1 纵波直入射检测的质量分级见表 11。

5.6.9.2 横波斜入射检测的质量分级见表 12。

5.6.9.3 在具体进行质量分级时，表 11 和表 12 应独立使用。

表 11 纵波直入射检测质量分级

单位为 mm

工件厚度	≤80		>80~200		>200~300		>300		>600	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
缺陷当量平底孔直径或因缺陷引起底波降低后的幅度	≤ φ3	> φ3	≤ φ6	> φ6	≤ φ10	> φ10	≤ φ13	> φ13	≥5%	<5%
注：工件厚度方向主要指承压方向上的尺寸；对于筒形或环形锻件，工件厚度为筒体厚度；对于饼型或类似锻件，工件厚度为其最小厚度。										

表 12 横波斜入射检测质量分级

单位为 mm

等级	I	II
缺陷幅度	缺陷波幅低于 V 型槽试块距离-波幅曲线，此时 V 型槽深为工件公称壁厚的 3%（最大为 3mm）	缺陷波幅低于 V 型槽试块距离-波幅曲线，此时 V 型槽深为工件公称壁厚的 5%（最大为 6mm）

5.7 承压设备用无缝钢管相控阵超声检测方法和质量分级

5.7.1 范围

5.7.1.1 本条适用于外径不小于 12mm 的承压设备用碳钢、低合金钢、奥氏体不锈钢及奥氏体-铁素体双相不锈钢无缝钢管超声检测方法和质量分级。

5.7.1.2 本条不适用于内外径之比小于 65%的钢管周向直接接触法斜入射检测和内外径之比小于 60%的钢管周向液浸法横波斜入射检测，也不适用分层类缺陷的超声检测。

5.7.2 检测原则

除非要求检测横向缺陷时，一般可只对纵向缺陷进行检测。经双方协商，纵向或横向缺陷的检测也可只在钢管的一个方向上进行。

5.7.3 检测设备

5.7.3.1 检测设备由相控阵超声检测仪、探头、检测装置、机械传动装置、分选装置及其他辅助装置等组成。

5.7.3.2 检测时单个探头激发孔径长度应不大于 25mm。

5.7.3.3 检测装置

检测装置应具有探头相对钢管位置的高精度调整机构并能可靠地锁紧或能实现良好的机械跟踪，以保证动态下声束对钢管的入射条件不变。

5.7.3.4 传动装置

传动装置应使钢管以均匀的速度通过检测装置并能保证在检测中钢管与检测装置具有良好的同心度。

5.7.3.5 分选装置

分选装置应能可靠地分开检测合格与不合格的钢管。

5.7.4 对比试块

对比试块采用 NB/T47013.3 所述的无缝钢管检测用试块。

5.7.5 延迟法则的设置

5.7.5.1 延迟法则按照 4.5.9 的要求设置。

5.7.5.2 聚焦位置的设置要求如下：

- a) 初始扫查一般不聚焦，并应避免在近场区内；
- b) 在对缺陷进行精确定量时，或对特定区域检测需要获得更高的灵敏度和分辨力时，可将焦点设置在该区域。

5.7.6 灵敏度的确定

5.7.6.1 直接接触法检测时，可直接在对比试块上将内壁人工反射体的回波幅度调到显示屏满刻度的 80%，再移动探头，找出外壁人工反射体的最大回波，在显示屏上标出，连接两点即为距离-波幅曲线，作为检测时的基准灵敏度。由于管径的原因，对比试块上无内壁人工反射体时，可用外壁人工反射体的一次回波和二次回波制作距离-波幅曲线。

5.7.6.2 液浸法基准灵敏度按下述方法确定：

- a) 水层距离应根据聚焦探头的焦距来确定；
- b) 调整时，一面用适当的速度转动管子，一面将探头慢慢偏心，使对比试块内、外表面人工反射体所产生的回波幅度均达到显示屏满刻度的 50%，并以此作为基准灵敏度；
- c) 当内、外壁人工反射体信号使用同一个报警闸门时，检测仪的报警灵敏度应按照内、外壁的信号中以及周向不同位置的信号中较低幅度的信号进行设定。当内、外壁人工反射体信号使

用两个不同的报警闸门时，检测仪的报警灵敏度应按照内、外壁人工反射体在周向不同位置中较低幅度的信号分别进行设定。同时，两个闸门的宽度应满足管壁内部缺陷信号的报警要求。

5.7.6.3 扫查灵敏度一般应比基准灵敏度高 6dB。

5.7.7 检测

5.7.7.1 钢管的检测可根据钢管规格选用液浸法或直接接触法检测。

5.7.7.2 用试块调节检测时，应考虑试块和被检钢管表面的耦合差。

5.7.7.3 采用斜入射检测法在探头和钢管相对移动的状态下进行检测。自动或手工检测时均应保证声束对钢管全部表面的扫查。自动检测时对钢管两端将不能有效地检测，此区域视为自动检测的盲区，应采用有效方法如手工方法对该区域远行检测。

5.7.7.4 检测纵向缺陷时声束在管壁内沿圆周方向传播；检测横向缺陷时声束在管壁内沿管轴方向传播。纵向、横向缺陷的检测均应在钢管的两个相反方向上进行。

5.7.7.5 探头相对钢管螺旋进给的螺距应保证超声波束对钢管进行 100%扫查时，应有不小于 15% 的覆盖率。

5.7.7.6 自动检测应保证动态时的检测，且内、外壁人工反射体的最大反射波幅差不超过 2dB。

5.7.8 缺陷记录

5.7.8.1 直接接触法检测时，回波幅度大于或等于相应的对比试块人工反射体距离-波幅曲线 50% 高度的缺陷。

5.7.8.2 液浸法检测时，回波幅度大于或等于相应的对比试块内、外表面人工反射体所产生的回波幅度 50% 的缺陷。

5.7.9 质量分级

5.7.9.1 无缝钢管质量分级按表 13 的规定。

5.7.9.2 不合格品允许重新处理，处理后仍按本条进行检测和质量等级评定。

表 13 无缝钢管相控阵超声检测质量分级

等级	允许缺陷回波幅度	
	直接接触法	液浸法
I	低于相应的对比试块人工反射体距离-波幅曲线 50%，即 $H_d < 50\%DAC$	低于相应的对比试块内、外表面人工反射体所产生的回波幅度 50%，即 $H_d < 50\%H_r$
II	低于相应的对比试块人工反射体距离-波幅曲线，即 $50\%DAC \leq H_d < DAC$	低于相应的对比试块内、外表面人工反射体所产生的回波幅度，即 $50\%H_r \leq H_d < H_r$
III	大于或等于相应的对比试块人工反射体距离-波幅曲线，即 $H_d \geq DAC$	大于或等于相应的对比试块内、外表面人工反射体所产生的回波幅度，即 $H_d \geq H_r$

注：H_d 指缺陷回波幅度；H_r 指液浸法对比试块内、外表面人工反射体所产生的回波幅度。

5.7.10 验收要求

无缝钢管的验收等级要求按相应技术文件规定。

6 承压设备焊接接头相控阵超声检测方法和质量分级

6.1 范围

6.1.1 本章适用于在制和在用金属材料制承压设备焊接接头的相控阵超声检测；对于聚乙烯管道电熔接头，可参照附录 C 进行检测。

6.1.2 对于其他细晶各向同性和低声衰减金属材料，可参照本章的规定进行，但应考虑材料声学特性的变化。

6.1.3 本标准不适用于内径小于或等于 200mm 的管座角接接头检测。

6.1.4 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 承压设备焊接接头检测工艺文件

6.2.1 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 14 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 14 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）

6.2.2 操作指导书除满足 4.3 的要求外，至少应满足以下内容：

- a) 检测技术要求：执行标准、检测技术等级、检测时机、检测比例、合格级别、扫查灵敏度、扫查方式、扫查增量、扇扫角度步进和检测前的表面准备；
- b) 检测设备和器材：检测设备、探头、楔块、耦合剂、扫查装置、试块名称和规格型号，工作性能检查的项目、时机和性能指标；
- c) 检测工艺参数：探头配置、扫描类型、采用波型、一次波与多次波反射、激发阵元数量、起始阵元位置、角度、聚焦方式及位置、探头位置、横向缺陷的检测方法（必要时）。

6.2.3 无损检测工艺文件的编制、审核和批准应符合相关法规或标准的规定。

6.2.4 操作指导书的工艺验证

焊接接头相控阵超声检测的工艺验证应在满足 4.2.4.3 要求的模拟试块上进行，验证的具体方式和要求如下：

- a) 按操作指导书对相应的模拟试块进行相控阵超声检测；
- b) 检测图像应能够清楚地显示模拟试块中所有的模拟缺陷；
- c) 测量的模拟缺陷尺寸应尽量接近其实际尺寸。

6.3 检测准备

6.3.1 检测区域的确定

6.3.1.1 检测区域由其高度和宽度表征。

6.3.1.1.1 对接接头检测高度为工件厚度加上焊缝余高。

6.3.1.1.2 检测区域宽度为焊缝本身加上焊缝熔合线两侧各 10mm。

6.3.1.2 若对于已发现缺陷部位进行复检或已确定的重点部位，检测区域可缩减至相应部位。

6.3.2 表面制备

6.3.2.1 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，表面粗糙度 $Ra \leq 25\mu\text{m}$ 。当采用平行线扫查时，打磨宽度根据工艺设置确定。采用锯齿形扫查时，打磨宽度应满足 NB/T 47013.3 的相关要求。

6.3.2.2 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。

6.3.3 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。

6.3.4 参考线

6.3.4.1 用于平行线扫查时沿步进方向行走的直线。

6.3.4.2 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工艺设置而定。参考线距焊缝中心线距离的误差为 $\pm 1\text{mm}$ 。

6.4 扫查方式和扫描方式的选择

6.4.1 焊接接头初始扫查推荐采用机械扫查+电子扫描的结合方式。对可疑部位，可结合锯齿、前后、左右、旋转、环绕等各种扫查方式进行检测。

6.4.2 对接接头的初始扫查采用平行线扫查+扇扫描，显示方式可选择声程显示成像或几何结构显示成像。具体要求如下：

- a) 工件厚度为 $4\text{mm}\sim 8\text{mm}$ （不包括 8mm ）的焊缝应采用三次波、二次波或四次波分开设置进行检测；
- b) 工件厚度为 $8\text{mm}\sim 30\text{mm}$ 的焊缝应采用一次波和二次波同时设置进行检测；
- c) 工件厚度大于 $30\text{mm}\sim 120\text{mm}$ 的焊缝宜采用一次波、二次波分开设置进行检测；
- d) 公称厚度大于 $120\text{mm}\sim 200\text{mm}$ 的焊缝宜采用一次波进行检测，且至少采用两组扇扫描检测，见图 11。

6.4.3 角接接头的初始扫查采用扇扫描+平行线扫查和线扫描+平行线扫查组合检测。显示方式宜采用按实际几何结构显示成像，见图 12、图 13。

6.4.4 T 型接头的初始扫查采用扇扫描+平行线扫查和线扫描+平行线扫查组合检测。显示方式宜采用按实际几何结构显示成像，见图 14~图 16。

6.4.5 根据被检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或线扫描及串列扫描检测。

6.4.6 锯齿形扫查应根据被检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。

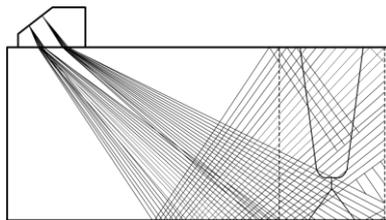


图 11 采用多组扇扫描检测示意图

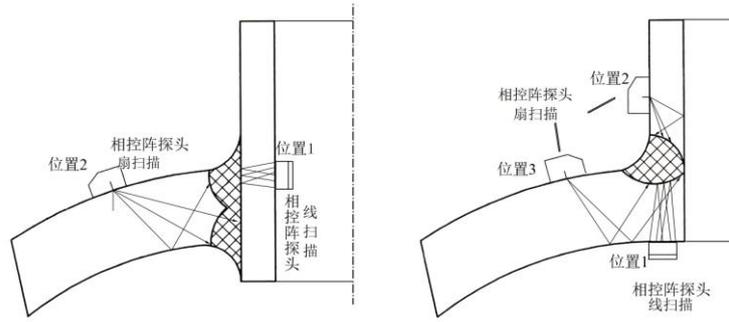


图 12 插入式管座角焊缝

图 13 安放式管座角焊缝

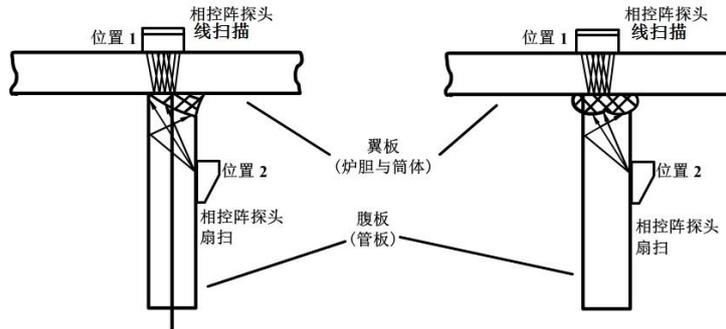


图 14 T型接头(型式 I)

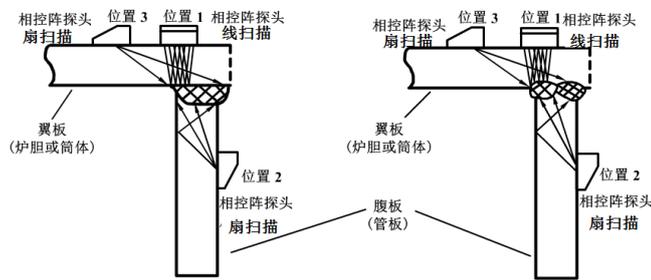


图 15 T型接头(型式 II)

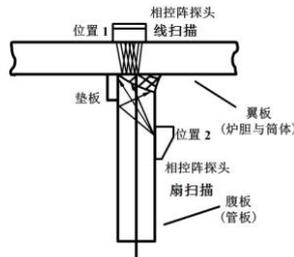


图 16 T型接头(型式 III)

6.5 聚焦设置

6.5.1 焊缝初始扫查的聚焦深度设置一般应避免在近场区内。当检测声程范围在 50mm 以下时，聚焦深度可以设置在最大探测声程处；当检测声程范围在 50mm 以上时，聚焦深度可以选择检测声程范围的中间值或其他适当深度。

6.5.2 在对缺陷进行精确定量时，或对特定区域检测需要获得更高的灵敏度和分辨力时，可将焦点设置在该区域，但应注意聚焦区以外声场劣化问题。

6.6 钢制承压设备 I 型焊接接头相控阵超声检测和质量分级

6.6.1 范围

本条适用 I 型焊接接头相控阵超声检测，I 型焊接接头范围见表 15。

6.6.2 检测技术等级

6.6.2.1 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 级，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。

表 15 I 型焊接接头的相控阵超声检测适用范围

承压设备类别	焊接接头类型	工件厚度 t	检测面直径
锅炉、压力容器	筒体（或封头）对接接头	$\geq 4 \sim 200$	≥ 500 ，纵向对接接头时，内外径比 $\geq 70\%$
			$\geq 100 \sim 500$ 的纵向对接接头且内外径比 $\geq 70\%$
			$\geq 159 \sim 500$ 的环向对接接头
	接管与筒体（或封头）角接接头	$\geq 4 \sim 200$	插入式：筒体（或封头） ≥ 500 且内外径比 $\geq 70\%$ ，接管公称直径 ≥ 80 安放式：筒体（或封头） ≥ 300 且接管公称直径 ≥ 100
	T 型焊接接头	$\geq 4 \sim 200$	—
	管子环向对接接头	$\geq 4 \sim 150$	外径 ≥ 159
压力管道	管子纵向对接接头	$\geq 4 \sim 150$	外径 ≥ 100 ，内外径比 $\geq 70\%$
	环向对接接头	$\geq 4 \sim 150$	外径 ≥ 159
	纵向对接接头	$\geq 4 \sim 150$	外径 ≥ 100 ，内外径比 $\geq 70\%$

6.6.2.2 不同检测技术等级的要求

6.6.2.2.1 A 级检测

A 级仅适用于母材厚度为 4mm~40mm 的焊接接头，应保证相控阵声束对检测区域实现至少一次全覆盖，可以用直射法和一次反射法从单面单侧进行检测，一般不需要进行横向缺陷定量。

6.6.2.2.2 B 级检测适用于工件厚度为 4mm~200mm 的焊接接头的检测，应保证相控阵声束对检测区域实现至少两次全覆盖：

- 母材厚度为 4mm~40mm 时，用直射法和一次反射法在焊接接头的单面双侧检测；
- 母材厚度为 40mm~100mm 时，用直射法在焊接接头的双面双侧检测；用直射法和一次反射法在焊接接头的单面双侧进行检测；如受几何条件限制，可用焊接接头双面单侧、单面双侧或单面单侧检测；
- 母材厚度为 100mm~200mm 时，直射法在焊接接头双面双侧检测。由于结构限制，只能在单面双侧或单面单侧进行检测时，应将焊缝余高磨平；
- 应作横向缺陷检测。检测时，在焊缝两侧边缘使探头与焊缝中心线成 $10^\circ \sim 30^\circ$ 作两个方向的斜向扫查。对余高磨平的焊缝，将探头放在焊缝及热影响区上作两个方向的平行线扫查。

6.6.2.2.3 C 级检测适用于工件厚度为 4mm~200mm 的焊接接头的检测，应保证相控阵声束对检

测区域实现至少三次全覆盖，其中一次扫查可将探头置于焊缝表面上实施：

- a) 采用 C 级检测时应将焊缝余高磨平。对焊缝两侧斜射波声束扫查经过的母材区域要作纵波直入射检测；
- b) 4mm~40mm 时，用直射法和一次反射法在焊接接头的双面双侧进行检测；
- c) 40mm~200mm 时，用直射法在焊接接头的双面双侧进行检测；
- d) 壁厚大于或等于 40mm 的对接焊接接头，还应增加纵波直入射检测；
- e) 若由于结构限制无法实现双面双侧扫查时，应在 B 级基础上至少增加一次不同位置的平行线扫查；
- f) 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线扫查。

6.6.2.2.4 当要求对检测区域进行两次以上全覆盖时，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。若因条件限制不能实现时，则允许来自一个方向，但任两次覆盖的声束夹角不得小于 10°。

6.6.3 试块

6.6.3.1 试块制作应符合 4.2.4 的规定。

6.6.3.2 标准试块采用 CSK- I A 试块。

6.6.3.3 对比试块采用 PRB- I 、 PRB- II 、 PRB-III和 PRB-IV，适用范围见表 16。其形状见图 17~图 20。

6.6.3.4 当试块尺寸满足检测需求时，也可采用 NB/T 47013.3 所述的 CSK- II A 系列试块，适用范围按 NB/T 47013.3 的规定执行。

表 16 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。

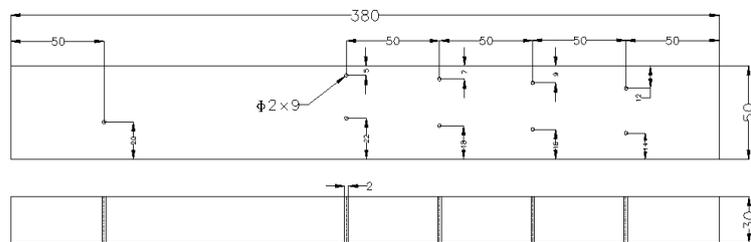


图 17 PRB- I 试块

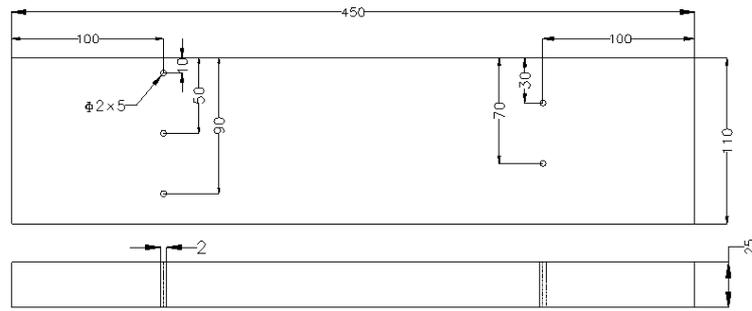


图 18 PRB-II 试块

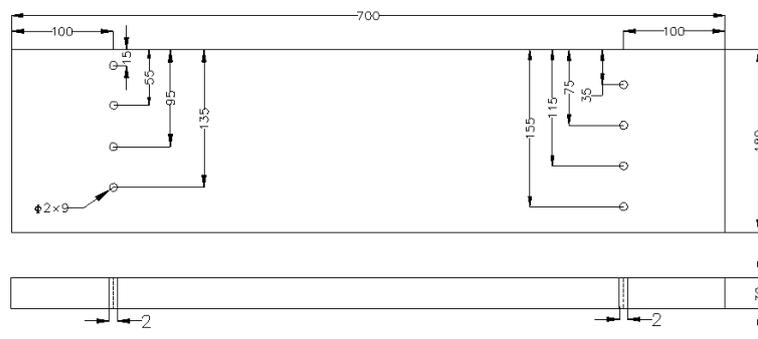


图 19 PRB-III 试块

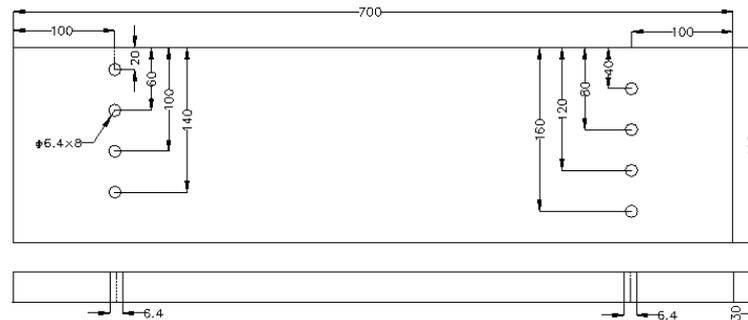


图 20 PRB-IV 试块

6.6.4 检测系统的调试

6.6.4.1 相控阵探头的选择

6.6.4.1.1 标称频率一般为 2.5MHz~10MHz。

6.6.4.1.2 阵元数要根据被检件厚度选择，单次激发的阵元数不得低于 16。线扫描进行纵波检测时，单次激发阵元数不得低于 4。与工件厚度有关的相控阵探头参数选择可参考表 17。

6.6.4.1.3 相控阵探头应与检测面紧密接触。探头楔块与被检件接触面的间隙大于 0.5mm 时，应采用曲面楔块或对楔块进行修磨，修磨时应重新测量楔块几何尺寸，同时考虑对声束的影响。

表 17 检测焊接接头时相控阵探头参数选择推荐表

工件厚度/mm	激发孔径/mm	标称频率/MHz	工件厚度/mm	激发孔径/mm	标称频率/MHz
6~15	6.0~10	7.5~10	>70~120	15~23	2.5~5
>15~70	7.0~15	4~7.5	>120~200	15~23	2.5~5
注 1: 在满足能穿透的情况下, 尽可能选择激发孔径小的探头。 注 2: 为了提高图像质量, 线扫描在满足穿透的情况下, 应选择激发孔径小的探头。 注 3: w 应大于或等于 6mm。					

6.6.4.2 延迟法则参数

根据检测对象和现场条件选择扫描类型确定延迟法则。延迟法则参数的内容应满足 4.5.9 的规定。

6.6.4.3 检测区域覆盖

检测区域覆盖的要求应满足 4.5.4 的要求。

6.6.4.4 灵敏度设置

6.6.4.4.1 可选用 TCG 和 DAC 两种方式设置灵敏度。

6.6.4.4.2 初始扫查时推荐采用 TCG 设置灵敏度, TCG 灵敏度选择可参照 6.6.4.6 的规定。

6.6.4.4.3 应按所用的相控阵检测仪和相控阵探头在 PRB-I、PRB-II、PRB-III 和 PRB-IV 试块上制作, 制作方法见附录 F。

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

6.6.4.4.5 采用扇扫描或线扫描检测前, 应对扫描角度范围内的每一个声束校准, 校准的声程范围应包含检测拟使用的声程范围。

6.6.4.4.6 在校准过程中, 应控制噪声信号, 信噪比应大于或等于 12dB。

6.6.4.5 ACG 修正

当采用扇扫描时, 为避免角度灵敏度差异, 应进行 ACG 修正。可采用在半圆试块或 CSK-I A 试块上进行。

6.6.4.6 DAC 灵敏度选择

6.6.4.6.1 DAC 灵敏度应符合表 18 规定。

6.6.4.6.2 检测横向缺陷时, 应将各线灵敏度均提高 6dB。

6.6.4.6.3 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, 补偿量应计入距离-波幅曲线。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。

表 18 距离-波幅曲线的灵敏度

板厚/mm	评定线	定量线	判废线
6~46	$\phi 2 \times 30 - 18\text{dB}$	$\phi 2 \times 30 - 12\text{dB}$	$\phi 2 \times 30 - 4\text{dB}$
>46~120	$\phi 2 \times 30 - 14\text{dB}$	$\phi 2 \times 30 - 8\text{dB}$	$\phi 2 \times 30 + 2\text{dB}$
>120~200	$\phi d - 16\text{dB}$	$\phi d - 10\text{dB}$	ϕd

6.6.4.7 相控阵探头配置

锯齿形扫查应选择单探头配置。平行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。

6.6.5 不同类型焊接接头的检测原则

6.6.5.1 平板对接接头的检测

宜采用平行线扫查，平行线扫查不可行时采用锯齿形扫查。

6.6.5.2 曲面工件（直径小于 500mm）对接接头的检测

6.6.5.2.1 环向对接接头检测时，楔块的曲率应与被检件的形状相吻合，楔块边缘与被检件接触面的间隙 x 大于 0.5mm 时，应采用曲面楔块。可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。

6.6.5.2.2 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。

6.6.5.2.3 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。

6.6.5.3 管座角焊缝的检测

6.6.5.3.1 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 6.2 和 7.2 的规定。

6.6.5.3.2 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) 在接管内壁采用线扫描，见图 12 位置 1；
- b) 在容器内壁采用线扫描，见图 13 位置 1；
- c) 在接管外壁采用扇扫描，见图 13 位置 2；
- d) 在容器外壁采用扇扫描，见图 12 位置 2 和图 13 位置 3。

6.6.5.3.3 管座角焊缝以线扫描（纵波）检测为主，必要时增加横波检测的内容：

- a) 相控阵探头的选择按 6.6.4.1 的规定执行；
- b) 扇扫描的 DAC 或 TCG 灵敏度按表 18 的规定。线扫描的 DAC 或 TCG 灵敏度按表 19 的规定；
- c) 采用线扫描（纵波）检测时，按照 NB/T 47013.3 中的相关规定制作距离-波幅曲线及确定基准灵敏度；
- d) 扫查灵敏度一般在基准灵敏度基础上提高 6dB。

表 19 管座角焊缝线扫描(纵波)距离-波幅曲线的灵敏度

评定线	定量线	判废线
$\phi 2\text{mm}$ 平底孔	$\phi 3\text{mm}$ 平底孔	$\phi 6\text{mm}$ 平底孔

6.6.5.3.4 扫查方式

初始扫查时采用平行线扫查，平行线扫查不可行时采用锯齿形扫查。对于可疑部位可结合前后、左右、旋转、环绕等各种扫查方式进行检测。

6.6.5.4 T 型接头的检测

6.6.5.4.1 适用范围

本条适用于厚度为 6mm~200mm 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。

6.6.5.4.2 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 6.3 和 7.2 的规定。

6.6.5.4.3 检测方式

- a) 从翼板外侧用线扫描进行检测，见图 14 位置 1、图 15 位置 1 和图 16 位置 1；
- b) 用扇扫描在腹板一侧用直射法和一次反射法进行检测，见图 14 位置 2、图 15 位置 2 和图 16 位置 2；
- c) 用扇扫描从翼板外侧采用直射法进行检测，见图 15 位置 3。

6.6.5.4.4 T 型接头采用扇扫描和线扫描（纵波）进行检测

- a) 相控阵探头的选择按 6.6.4.1 的规定执行；
- b) 扇扫描时，DAC 或 TCG 灵敏度应以腹板厚度按表 18 确定；线扫描检测时，DAC 或 TCG 灵敏度应以翼板厚度按表 20 确定；
- c) 线扫描距离-波幅曲线的制作和基准灵敏度的确定与 6.7.5.3.3 c) 相同；
- d) 扫查灵敏度一般在基准灵敏度基础上提高 6dB。

表 20 T 型接头线扫描(纵波)距离-波幅曲线的灵敏度

评定线	定量线	判废线
φ2mm 平底孔	φ3mm 平底孔	φ4mm 平底孔

6.6.5.4.5 扫查方式

初始扫查时采用平行线扫查，平行线扫查不可行时采用锯齿形扫查。对于可疑部位可结合前后、左右、旋转、环绕等各种扫查方式进行检测。

6.6.5.4.6 对缺陷进行等级评定时，均以腹板厚度为准。

6.6.6 缺陷定量

6.6.6.1 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，可采用各种聚焦方法提高定量精度。

6.6.6.2 缺陷位置：以获得缺陷的最大反射波幅的位置为缺陷位置。

6.6.6.3 缺陷长度：平行线扫查时，采用评定线绝对灵敏度法按影像的实际轮廓测定缺陷指示长度。锯齿形扫查时，当缺陷只有一个高点时，采用 6dB 法测长；当缺陷有多个高点时，采用端点 6dB 法测长。

6.6.6.4 缺陷自身高度

6.6.6.4.1 对于面状缺陷，可在 S 扫描或 D 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，横波端点衍射法见附录 E。

6.6.6.4.2 对满足 NB/T 47013.10 检测要求的承压设备焊接接头，也可采用 TOFD 方法测量缺陷自身高度，具体按照 NB/T 47013.10 的规定执行。

6.6.6.5 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）。

6.6.7 缺陷的评定和质量分级

6.6.7.1 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。

6.6.7.2 凡在判废线（含判废线）以上的缺陷显示，评为Ⅲ级。

6.6.7.3 凡在定量线（不含定量线）以下的缺陷显示，评为Ⅰ级。

6.6.7.4 对于定量线以上、判废线以下的缺陷显示一般应按 6.6.7.4.1 的规定进行评级，特殊要求时按 6.6.7.4.2 的规定进行评级。

6.6.7.4.1 质量分级方法一：

- a) 缺陷长度按实测值计；
- b) 质量分级按表 21 的规定进行。

6.6.7.4.2 质量分级方法二：

- a) 圆形缺陷的评定按 6.6.7.4.1 的规定进行；
- b) 条形缺陷的评级按表 22 的规定进行。

表 21 焊接接头质量分级方法一

单位为 mm

等级	板厚 T	反射波幅 (所在区域)	单个缺陷长度 L	多个缺陷累计长度 L'
Ⅰ	8~120	Ⅱ	$L=T/3$ ，最小为 10，最大不超过 30	在任意 $9T$ 焊缝长度范围内 L' 不超过 T
	>120~200		$L=T/3$ ，最大不超过 50	
Ⅱ	8~120	Ⅱ	$L=2T/3$ ，最小为 12，最大不超过 40	在任意 $4.5T$ 焊缝长度范围内 L' 不超过 T
	>120~200		最大不超过 75	
Ⅲ	8~200	Ⅱ	超过Ⅱ级者	
注 1：母材板厚不同时，取薄板侧厚度。				
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。				

表 22 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 l_{max}	高度 h_3	若 $l > l_{max}$ 缺陷高度 h_1	长度 l_{max}	高度 h_2	若 $l > l_{max}$ 缺陷高度 h_1	
I	$4 \leq t \leq 8$	6	1.5	1.0	6	1.5	1.0	1) 若多个缺陷其各自高度 h 均为: $h_1 < h \leq h_2$ 或 h_3 , 则在任意 $12t$ 范围内累计长度不得超过 $3t$ 且最大值为 150mm; 2) 对于单个或多个表面缺陷, 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 400mm
	$8 < t \leq 15$	7	2	1.5	7	2	1.5	
	$15 < t \leq 40$	15	3	2	15	3.5	2	
	$40 < t \leq 60$	25	4	2.5	25	5	2.5	
	$60 < t \leq 100$	35	5	3	35	6.5	3	
	$t > 100$	45	6	3.5	45	8	3.5	
II	$4 \leq t \leq 8$	t	1.5	1.0	t	1.5	1.0	1) 若多个缺陷其各自高度 h 均为: $h_1 < h \leq h_2$ 或 h_3 , 则在任意 $12t$ 范围内累计长度不得超过 $4t$ 且最大值为 200mm; 2) 对于单个或多个表面缺陷, 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 500mm
	$8 < t \leq 15$	t	2	1.5	t	2	1.5	
	$15 < t \leq 40$	t	3	2	t	3.5	2.0	
	$40 < t \leq 60$	40	4	2.5	40	5	2.5	
	$60 < t \leq 100$	50	5	3	50	6.5	3.0	
	$t > 100$	60	6	3.5	60	8	3.5	
III	4~200	超过 II 级者						

注: 母材壁厚不同时, 取薄侧厚度值。

6.7 II型焊接接头相控阵超声检测和质量分级

6.7.1 适用范围

本条适用 II 型焊接接头的相控阵超声检测, II 型焊接接头相控阵超声适用范围见表 23。

表 23 II 型焊接接头相控阵超声适用范围

承压设备类别	焊接接头类型	工件厚度	检测面直径
锅炉、压力容器	管子环向对接接头	$\geq 8 \sim 50$	外径 $\geq 32 \sim 159$
		$\geq 4 \sim 8$	外径 ≥ 32
压力管道	环向对接接头	$\geq 8 \sim 50$	外径 $\geq 32 \sim 159$
		$\geq 4 \sim 8$	外径 ≥ 32

6.7.2 对比试块

6.7.2.1 对比试块制作符合 4.2.4 的规定。

6.7.2.2 对比试块的曲率应与被检管径相同或相近, 其曲率半径之差不应大于被检管径的 10%。采用的对比试块型号为 PGS 系列试块, 共 8 块, 其型号、形状和尺寸应分别符合图 21 和表 24 的规定。

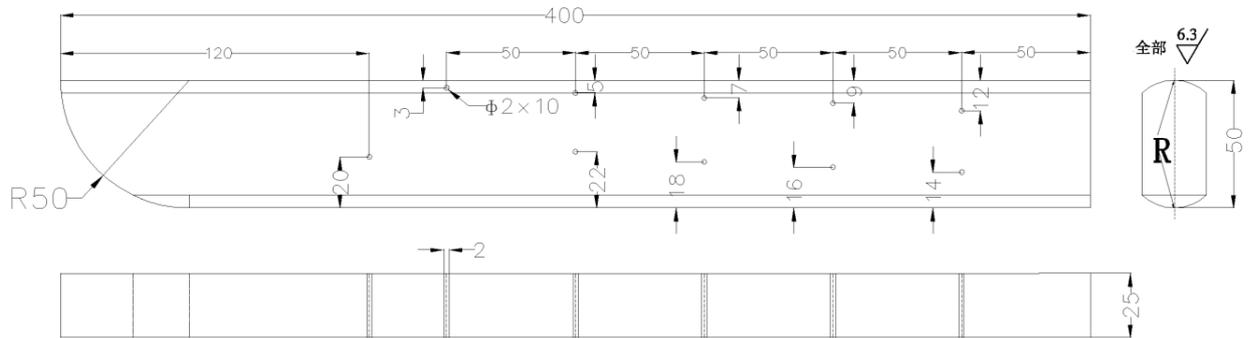


图 21 GS 试块形状和尺寸

表 24 试块圆弧曲率半径及适用范围

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

6.7.3 检测准备

检测准备符合 5 的规定。

6.7.4 检测系统的调试

6.7.4.1 相控阵探头的选择

6.7.4.1.1 一次激发的阵元数不得低于 16 个。

6.7.4.1.2 与工件厚度有关的相控阵探头参数选择可参考表 25。

6.7.4.1.3 楔块的曲率应与被检管件的形状相吻合，见图 22。楔块边缘与被检件接触面的间隙 x 大于 0.5mm 时，应采用曲面楔块。

表 25 检测焊接接头时相控阵探头参数选择推荐表

管壁厚度/mm	激发孔径/mm	标称频率/MHz
6~15	6~10	7.5~10
>15	7~15	4~7.5

注 1: 在满足能穿透的情况下，尽可能选择激发孔径小的探头。
注 2: 为了提高图像质量，线扫描在满足穿透的情况下，应选择激发孔径小的探头。
注 3: w 应大于或等于 6mm。

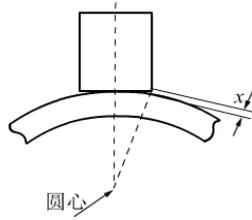


图 22 探头楔块边缘与管子外表面间隙的示意图

6.7.4.2 扫描类型

6.7.4.2.1 管壁厚度为 4mm~8mm（不含 8mm）的对接接头：

- a) 平行线扫查时，采用三次波、二次波或四次波分开设的扇扫描或线扫描进行检测；
- b) 锯齿形扫查时，应采用扇扫描进行检测。

6.7.4.2.2 管壁厚度大于或等于 8mm 的对接接头应采用扇扫描进行检测。

6.7.4.3 选择延迟法则参数

延迟法则参数的内容满足 4.5.9 的规定。

6.7.4.4 检测区域覆盖

检测区域覆盖符合 6.6.4.3 的规定。

6.7.4.5 TCG 或 DAC 曲线的制作

在 PGS 系列对比试块上制作 TCG 或 DAC 曲线，初扫优先推荐采用 TCG 曲线。

6.7.4.6 ACG 修正

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。

6.7.4.7 TCG 或 DAC 的灵敏度选择

6.7.4.7.1 不同管壁厚度的距离-波幅曲线灵敏度的选择应符合表 26 规定。

表 26 距离-波幅曲线的灵敏度

管壁厚度/mm	评定线	定量线	判废线
6~8	$\phi 2 \times 30 - 16\text{dB}$	$\phi 2 \times 30 - 10\text{dB}$	$\phi 2 \times 30 - 4\text{dB}$
≥ 8	$\phi 2 \times 30 - 14\text{dB}$	$\phi 2 \times 30 - 8\text{dB}$	$\phi 2 \times 30 - 2\text{dB}$

6.7.4.7.2 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，补偿量应计入距离-波幅曲线。

6.7.4.8 相控阵探头配置

相控阵探头配置应符合 6.7.4.1 的规定。

6.7.4.9 扫查覆盖

扫查覆盖应符合 4.5.4 的规定。

6.7.4.10 扫查步进设置

扫查步进设置应符合 4.5.5 的规定。

6.7.4.11 位置传感器的校准

位置传感器的校准应符合 4.2.6.4.2 的规定。

6.7.4.12 耦合监控的设置

耦合监控的设置应符合 4.5.10 的规定。

6.7.4.13 温度

温度的控制应符合 4.5.11 的规定。

6.7.5 现场检测

现场检测应符合 6.6 的规定，但扫查灵敏度不得低于 6.7.4.7 的规定。

6.7.6 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 4.6 的规定，但确认为缺陷的检测数据应按 6.7.8 进行评定。

6.7.7 缺陷定量

缺陷定量应符合 6.6.6 的规定，但缺陷长度应按式（4）计算：

$$I=L \times (R-H)/R \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

L ——探头左右移动距离，mm；

R ——管子外径，mm；

H ——缺陷距外表面深度，mm。

6.7.8 承压设备管子和压力管道环向对接接头的质量评定

6.7.8.1 凡判定为裂纹、坡口未熔合的缺陷显示，评为Ⅲ级。

6.7.8.2 凡在判废线（含判废线）以上的缺陷显示，评为Ⅲ级。

6.7.8.3 凡在定量线（不含定量线）以下的缺陷显示，评为Ⅰ级。

6.7.8.4 对于定量线以上、判废线（不含判废线）以下的缺陷显示一般应按照 6.7.8.4.1 的规定进行评级，特殊要求时可按照 6.7.8.4.2 的规定进行评级。

6.7.8.4.1 质量分级方法一：

- a) 缺陷长度按实测值计；
- b) 质量分级按表 27 的规定进行。

6.7.8.4.2 质量分级方法二：

- a) 圆形缺陷的评定按 6.7.8.4.1 的规定进行；
- b) 条形缺陷的评级按表 22 的规定进行。

表 27 对接接头质量分级

单位为 mm

等 级	反射波幅 (所在区域)	埋藏缺陷长度			根部开口缺陷长度	
		单个缺陷长度 L	单个缺陷长度 L	缺陷累计长度	单个缺陷长度 L	缺陷累计长度
Ⅰ	Ⅱ	$L \leq T/3$ ，最大为 10	$L \leq T/4$ ，最大为 5	累计长度小于或等于焊缝周长的 10%，且小于 30		
Ⅱ	Ⅱ	$\leq 2T/3$ ，最大为 13	$L = T/3$ ，最大为 6	累计长度小于或等于焊缝周长的 15%，且小于 40		
Ⅲ	Ⅱ	超过Ⅱ级者				

注 1：在 10mm 焊缝长度范围内，同时存在条状缺陷和未焊透时，评为Ⅲ级。
注 2：板厚不同时，取薄板侧厚度。

7 检测记录和报告

7.1 应按照现场操作的实际情况详细记录检测过程的有关信息和数据。超声检测记录除符合 NB/T 47013.1 的规定外，还至少应包括以下内容：

7.1.1 工艺规程版次或操作指导书编号。

7.1.2 检测技术等级。

7.1.3 检测设备和器材：检测设备、探头、楔块、耦合剂、扫查装置、试块名称和规格型号。

7.1.4 检测技术要求：执行标准、检测技术等级、检测时机、检测比例、合格级别、扫查灵敏度、激发阵元数量、激发阵元起始位置、扫描方式和扫查方式、探头位置、聚焦深度、角度范围、角度步进、扫查步进、检测前的表面准备和耦合补偿量等。

7.1.5 检测结果：

- a) 检测部位示意图；
- b) 数据文件名及检测长度；
- c) 缺陷记录：缺陷起始位置、长度、深度、回波波幅等；
- d) 缺陷评定级别；
- e) 缺陷类型、缺陷自身高度（在用承压设备检测时）。

7.1.6 检测人员和复核人员签字。

7.2 应依据检测记录出具检测报告。相控阵超声检测报告除符合 NB/T 47013.1 的规定外，还至少应包括以下内容：

- a) 委托单位；
- b) 检测记录编号；
- c) 检测技术等级；
- d) 检测设备器材：检测设备、探头、楔块、耦合剂、扫查装置、试块名称和规格型号；
- e) 检测示意图：检测部位以及所发现的缺陷位置和分布图；
- f) 缺陷部位扫描图：S 型显示、B 型显示或 C 型显示等，以能真实反映缺陷情况为原则。

附录 A

(规范性附录)

相控阵超声检测仪电气性能指标要求

相控阵超声检测仪电气性能指标要求见表 A.1。

表 A.1 相控阵超声检测仪电气性能指标要求

序号	性能	测试条件	指标要求
1	稳定性要求	(1) 预热后的稳定性 仪器按出厂文件中规定的预热时间预热后（仪器屏幕显示范围为 50mm，声速设定为 5900m/s），采用相控阵仪器一个有效的发射通道触发任意波形发生器产生一个 3 周期、中心频率 2MHz~6MHz、延迟 10 μ s、峰值 100mV 的信号，将信号输入至仪器一个有效的接收通道，调节增益使屏幕上产生一个满屏高度 80% 的参考回波信号。每隔 10min 观察该回波信号的幅度和时基线上位置的变化，连续测量 3 次	①参考回波信号幅值的变化 \leq 满屏高度的 2%； ②参考回波信号时基线位置的变化 \leq 满屏宽度的 1%
		(2) 显示抖动 仪器按出厂文件中规定的预热时间预热后（仪器屏幕显示范围为 50mm，声速设定为 5900m/s），采用任意波形发生器产生一个中心频率在 2MHz~6MHz 范围内的信号，连接仪器并使屏幕上产生一个参考回波信号（仪器增益设定在中间值），调节外部衰减器将参考信号幅度调至满屏高度的 80%。以每秒不少于 1 次的观察频率，测量该参考信号的幅度和时基线上位置的变化	①参考信号幅值的变化 \leq 满屏高度的 2%； ②参考信号时基线位置的变化 \leq 满屏宽度的 1%
		(3) 相对温度变化的稳定性 仪器按出厂文件中规定的预热时间预热后（仪器屏幕显示范围为 50mm，声速设定为 5900m/s），采用任意波形发生器产生一个中心频率 2MHz~6MHz、延迟 10 μ s、峰值 100mV 的信号，将信号输入至仪器一个有效的接收通道，调节增益使屏幕上产生一个满屏高度 80% 的参考回波信号。在仪器工作温度范围内，每隔 10 $^{\circ}$ C 变化观察该回波信号的幅度和时基线上位置的变化	①参考回波信号幅值的变化 \leq 满屏高度的 5%； ②参考回波信号时基线位置的变化 \leq 满屏宽度的 1%
		(4) 相对电压变化的稳定性 采用稳压电源给仪器供电，将稳压电源输出电压调到相控阵仪器正常工作电压的中间值，应用零延迟法则同时激发所有可用通道，采用中心频率 2MHz~6MHz 的相控阵探头在试块上产生底面回波作为参考信号，将参考信号幅度调至满屏高度的 80%（参考信号在仪器屏幕显示水平刻度 50%，且不小于 50mm）。在稳压电源输出电压降至仪器出厂文件中规定的低电压报警或低电压自动关机电压时，观察参考信号的幅度和时基线位置的变化	①参考信号幅值的变化 \leq 满屏高度的 2%； ②参考信号时基线位置的变化 \leq 满屏宽度的 1%
		(5) 发射脉冲重复频率 采用示波器测量相控阵仪器的发射脉冲重复频率（仅测试一个发射通道），包括最大值、最小值以及中间值，共 3 处	①实测值与标称值之间的偏差 \leq 标称值的 10%； ②脉冲重复频率（最大值）应不小于 4KHz

表 A.1 (续)

序号	性能	测试条件	指标要求
2	发射性能指标要求	(6) 有效输出阻抗 在发射脉冲电压、发射脉冲宽度、发射脉冲重复频率（以上取中间值）以及仪器出厂文件中提供的最佳阻尼设定值条件下，测量相控阵仪器的有效输出阻抗，测试的通道不少于通道总数的 10%	①有效输出阻抗 $\leq 50\Omega$ ，偏差在 $\pm 5\Omega$ 内； ②各通道实测值与标称值之间的偏差 \leq 标称值的 20%
		(7) 发射延时精度 设置相控阵仪器为 E 扫描，相控阵检测仪设置成多发多收，调整延迟法则，按一定延时间隔顺序激发所有相控阵检测仪发射器，相邻通道之间发射延时间隔设置为系统能设定的最小值，测试仪器发射延时精度，仅测试一个发射通道	相邻通道间发射脉冲的最小延迟时间应 $\leq 5\text{ns}$
		(8) 发射脉冲电压 在仪器出厂文件中提供的最佳阻尼设定值条件下，调节发射脉冲宽度和发射脉冲重复频率为中间值，测量相控阵仪器所有发射通道的最大、最小及中间值发射脉冲电压	①发射脉冲模式可以是方波或尖脉冲；发射脉冲电压幅度（带负载，即 V_{50} ）最大值应 $\geq 75\text{V}$ ； ②实测值与标称值（带负载，即 V_{50} ）之间的偏差 \leq 标称值的 10%
		(9) 发射脉冲反冲 在发射脉冲电压、发射脉冲宽度（以上取中间值）以及仪器出厂文件中提供的最佳发射脉冲重复频率和阻尼设定值条件下，测量相控阵仪器所有发射通道的发射脉冲反冲与发射脉冲电压峰-峰值之比	方波：发射脉冲反冲实测值 $<$ 发射脉冲电压峰-峰值的 8%
		(10) 发射脉冲宽度 在发射脉冲电压（取中间值）和仪器出厂文件中提供的最佳发射脉冲重复频率和阻尼设定值条件下，测量相控阵仪器发射通道的最大、最小及中间值发射脉冲宽度。测试的通道不少于通道总数的 10%	①方波和双极波脉冲：实测值与标称值之间的偏差 \leq 标称值的 10%； ②尖脉冲：实测值 \leq 标称值的 1.5 倍
		(11) 发射脉冲上升时间 在发射脉冲电压、发射脉冲宽度（以上取中间值）和仪器出厂文件中提供的最佳发射脉冲重复频率和阻尼设定值条件下，测量相控阵仪器发射通道的发射脉冲上升时间。测试的通道不少于通道总数的 10%	发射脉冲上升时间的最大值 $\leq 10\text{ns}$
3	接收器性能指标要求	(12) 串扰 采用任意波形发生器产生 5MHz 的连续正弦波，测试相控阵仪器所有通道中任意两通道间的串扰	串扰值 $> 40\text{dB}$
		(13) 发射脉冲后盲区 根据相控阵仪器的参数设置，采用任意波形发生器产生 5MHz 或相控阵仪器宽频带的中心频率的连续正弦波，测量相控阵仪器的发射脉冲后盲区，仅测试仪器一个通道	发射脉冲后盲区 $< 3.0\mu\text{s}$
		(14) 动态范围 采用任意波形发生器依次选择相控阵仪器每个频带的设定值，采用经过校准的外部衰减器，测量相控阵仪器的动态范围，仅测试一个发射通道	可用的动态范围 $> 70\text{dB}$
		(15) 接收器输入阻抗 采用任意波形发生器选择 5MHz 或相控阵仪器宽频带的中心频率，设置相控阵仪器增益为中间值，将超声仪器衰减器设置为最大和最小增益，测量接收器输入阻抗的实数和虚数部分。测量相控阵仪器的通道不少于通道总数的 10%	①仪器调至最大增益时，输入阻抗的实数部 R_{max} 应满足： $50\Omega \leq R_{\text{max}} \leq 1\text{k}\Omega$ ，虚数部分应满足： $C_{\text{max}} \leq 150\text{pF}$ ； ②对应的最大增益和最小增益，输入阻抗实数部分应满足： $ R_{\text{max}} - R_{\text{min}} /R_{\text{max}} \leq 0.1$ ，输入阻抗电容部分应满足： $ C_{\text{max}} - C_{\text{min}} /C_{\text{max}} \leq 0.15$ ； ③各通道的接收器输入阻抗的偏差 \leq 最大值的 10%

表 A.1 (续)

序号	性能	测试条件	指标要求	
3	接收器性能指标要求	(16) 放大器频率响应	采用任意波形发生器依次选择相控阵仪器每个频带的设定值, 采用经过校准的外部衰减器, 测量相控阵仪器放大器频率响应, 仅测试一个发射通道	①对于窄带, 每个频带的中心频率与标称值之间偏差 \leq 标称值的 10%; ②对于宽带, 每个频带带宽的上、下限实测值应包含标称值范围; ③接收部分频带范围按-3dB 测量应包括: 1MHz~15MHz
		(17) 通道增益变化	采用任意波形发生器选择相控阵仪器宽频带的中心频率, 测量相控阵仪器各通道增益的变化	各通道增益变化 <2 dB
		(18) 等效输入噪声	采用任意波形发生器选择相控阵仪器宽频带的中心频率, 使用经过校准的外部衰减器, 测量相控阵仪器的等效输入噪声, 测量相控阵仪器的通道不少于通道总数的 10%	对每个频带的每平方根宽带噪声都应满足: $N_{in} < 80 \times 10^{-9} V / \sqrt{Hz}$
		(19) 衰减器精度	对应每个频带设定值, 将相控阵仪器可同时激发的每个通道衰减器与匹配的外部标准衰减器进行比较	①在任意连续 20dB 范围内, 衰减器累积误差 ≤ 1.7 dB; ②在任意连续 1dB 范围内, 衰减器累积误差 ≤ 0.5 dB; ③在任意连续 60dB 范围内, 衰减器累积误差 ≤ 3 dB; ④接收放大器的增益调节范围应 ≥ 80 dB
		(20) 接收延时精度	对应宽频带的中心频率、采用信号发生器产生一个与仪器宽带中心频率相同的测试信号, 调节信号的幅度和仪器的时间延迟, 测量相控阵仪器接收延时精度, 仅测试仪器的一个通道	接收最小延迟时间 ≤ 5 ns
		(21) 幅度线性	对应宽频带的中心频率, 采用经过校准的外部衰减器改变参考信号的幅度, 测量相控阵仪器屏幕上的信号高度的变化, 仅测试仪器的一个通道	幅度线性的最大偏差 $\leq 2\%$
		(22) 时基线性	对应宽频带的中心频率, 采用经过校准的外部衰减器改变参考信号的幅度, 测量相控阵仪器的屏幕上的时基位置的变化, 仅测试仪器的一个通道	时基线性的最大偏差 $\leq 1\%$
		(23) 净增益	采用任意信号发生器在相控阵仪器屏幕上产生一个参考信号, 使用经过校准的外部衰减器测量相控阵仪器的净增益, 仅测试仪器一个通道	实测净增益 ≥ 60 dB
		(24) 声束合成	采用信号发生器产生 5MHz 的单周期正弦波信号, 并行输入 1~4 通道 (各通道延时 1 μ s), 测试合成信号的幅度和位置变化, 仅测试仪器一组通道	信号最大幅度变化 <2 dB

附录 B

(规范性附录)

相控阵超声探头电气性能指标要求

相控阵超声探头电气性能指标要求见表 B.1。

表 B.1 相控阵超声探头电气性能指标要求

序号	性 能		指 标 要 求
1	基本性能要求	基本要求	对于平面探头，探头表面与平度刀口尺的间隙应不大于 0.05mm
		中心频率	实测所有阵元实测的中心频率与标称频率的偏差 \leq 标称频率的 10%
		相对带宽	实测所有阵元实测的-6dB 频带相对宽度 \geq 标称值
		电阻抗或静电容	实测阻抗模或静电容与标称值的偏差 \leq 标称值的 20%
		持续脉冲时间	实测所有阵元实测的持续脉冲时间 \leq 标称值
2	其他性能要求	脉冲回波灵敏度	实测所有阵元脉冲回波灵敏度与标称值的偏差 \leq 3dB
		阵元性能一致性	灵敏度一致性，标准差 $S \leq 1\text{dB}$ ；中心频率一致性，变异系数 $C \times V \leq 3.3\%$
		阵元间串扰	相邻阵元间串扰值应不大于 25dB

附录 C

(资料性附录)

承压设备聚乙烯管道电熔接头相控阵超声检测方法和质量分级

C.1 范围

本部分适用于公称直径为 40mm~400mm 的聚乙烯管道电熔接头相控阵超声检测方法和质量分级。

C.2 检测工艺文件

C.2.1 检测工艺至少应包括如下内容：

- a) 检测准备：包括确定检测区域、探头及楔块的选取和设置、机械扫查及线扫描的选择、探头位置的确定、扫查面的确定、扫查面的准备等；
- b) 检测系统的设置和校准。

C.2.2 工艺验证试验

C.2.2.1 工艺验证试验在对比试块上进行，将拟采用的检测工艺应用到对比试块上。工艺验证试验结果应确保能够清楚地显示和测量对比试块中的缺陷或反射体。

C.2.2.2 对每一种规格的焊接接头，应加工典型焊接缺陷，检测时应能确保对比试块中典型缺陷能可靠检出。

C.3 试块

C.3.1 标准试块

C.3.1.1 应采用与被检焊接接头材料声学性能相同或近似的材料制成，试块的表面粗糙度应与检测试样相接近，该材料不得有大于或等于 $\phi 1\text{mm}$ 平底孔当量的缺陷，本条采用的标准试块有 PE-I、PE-II。

C.3.1.2 标准试块加工应符合下列要求：

- a) 预埋金属丝应平行于测试表面；
- b) 试块长度、高度、宽度、金属丝位置应符合图 C.1 和图 C.2 的要求，尺寸精度为 $\pm IT12$ ；
- c) 金属丝的直径： $\phi (1 \pm 0.05)\text{mm}$ ；
- d) 标准试块尺寸精度应符合本部分的要求，并应经计量部门检定合格。

C.3.1.3 PE-I 用于声束校准、TCG 修正和调整检测灵敏度。试块的检测面为平面或带有一定曲率半径的曲面，在试块的不同深度位置上含有 6 个排列不均匀的预埋金属丝，其规格尺寸和要求应符合图 C.1。PE-I 试块的型号、相应的曲率半径和适用的焊接接头范围见表 C.1 的规定。

C.3.1.4 PE-II 用于相控阵检测系统定位精度测试和 ACG 修正。试块的检测面为平面，在以检测面为中心的 $R25$ 半圆弧上均匀预埋 35 根 $\phi 1$ 金属丝，其规格尺寸和要求图 C.2。

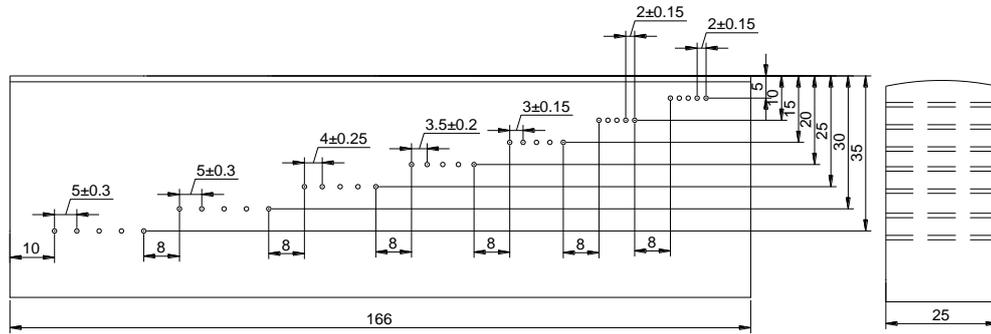


图 C.1 标准试块 PE-I

表 C.1 试块圆弧曲率半径

试块型号	试块圆弧曲率半径 R/mm	适用的电熔接头范围（公称直径）/mm
PE-I-1	30	$\geq 40 \sim 80$
PE-I-2	60	$\geq 80 \sim 160$
PE-I-3	平面	≥ 160

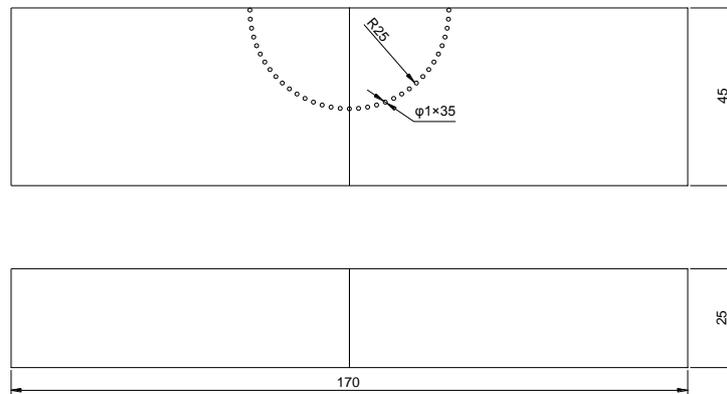


图 C.2 标准试块 PE-II

C.3.2 对比试块

对比试块的外形尺寸应能代表被检件的特征，试块厚度应与被检件厚度相对应，也可采用完好的焊接接头作为对比试块，试块中的反射体可以是人工缺陷。

C.3.3 检测准备

C.3.3.1 检测区域

检测区域应包含焊缝本身宽度加上两侧各 5mm 的母材。

C.3.3.2 扫查方式选择

选用平行线扫查+线扫描进行检测，线扫描角度为 0° 。

C.3.3.3 探头的选择

C.3.3.3.1 聚乙烯管道电熔接头相控阵超声检测用探头采用一维线阵探头。

C.3.3.3.2 探头声束汇聚区范围应能满足检测聚乙烯管道电熔接头内缺陷深度的要求。

C.3.3.3.3 探头激发孔径长度应大于电熔接头单边熔接区宽度，要求覆盖单边电熔接头的检测区域，探头激发孔径宽度应小于 10mm，使探头与管件外圆弧面有良好的耦合。

C.3.3.3.4 探头频率应根据管件厚度选定。不同管件厚度范围适用的探头频率见表 C.2。

表 C.2 不同管件厚度适用的探头频率

PE 管件厚度 e/mm	频率 f/MHz
$3 < e \leq 10$	$f \geq 5$
$10 < e \leq 20$	$4 < f < 5$
$e \geq 20$	$2.25 \leq f \leq 4$

C.3.3.4 探头的布置及软件设置

C.3.3.4.1 探头的布置

采用线扫描对焊缝进行覆盖，探头平行于管件轴线，周向移动做平行线扫查（见图 C.3）。

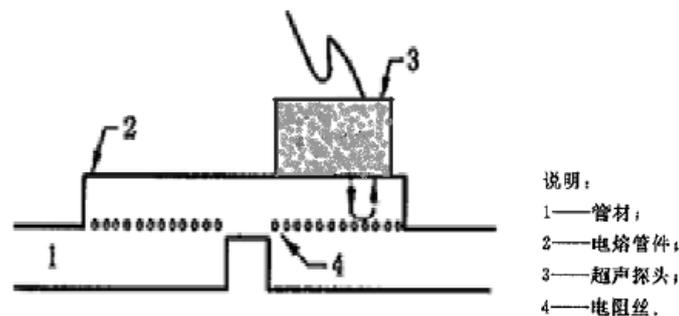


图 C.3 探头的布置

C.3.3.4.2 聚焦设置

焊缝初始扫查一般不聚焦，此时聚焦深度应设置在工件中最大探测声程以外。

在对缺陷进行精确定量时，或对特定区域检测需要获得更高的灵敏度和分辨力时，可将焦点设置在该区域，但应注意聚焦区以外声场劣化问题。

C.3.3.5 扫查面准备

C.3.3.5.1 检测时机

聚乙烯管道的电熔接头应在焊接工作完成、自然冷却 2h 后进行检测。

C.3.3.5.2 电熔焊接接头

电熔焊接接头应符合以下要求：

- 采用管材应符合 GB 15558.1 的要求，管件应符合 GB 15558.2 的要求；
- 接头应该是持证焊工按经评定合格的焊接工艺进行组装、施焊的；
- 接头外观质量检验合格，接头的表面应尽量平整、干净，不影响探头与工件的声耦合。

C.3.3.5.3 表面清理

所有影响超声检测的污物等都应予以清除。

C.3.3.5.4 扫查面标记

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。

C.3.3.6 耦合剂

C.3.3.6.1 应采用有效且适用于工件的介质作为耦合剂。

C.3.3.6.2 选用的耦合剂应在一定的温度范围内保证稳定可靠的检测。

C.3.3.6.3 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.3.3.7 检测温度

C.3.3.7.1 应确保在规定的温度范围内进行检测。

C.3.3.7.2 若温度过低或过高，应采取有效措施避免。若无法避免，应评价其对检测结果的影响。

C.3.3.7.3 系统校准与实际检测间的温度差应控制在 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ 之内。

C.3.3.7.4 采用常规探头和耦合剂时，工件的表面温度范围为 $0^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。超出该温度范围，可采用特殊探头或耦合剂，并通过实验验证。

C.3.4 检测系统的设置和校准

C.3.4.1 线扫描的校准

C.3.4.1.1 采用线扫描检测前，应对线扫描角度 0° 时的声束校准，校准的声程范围应包含检测拟使用的声程范围。

C.3.4.1.2 校准采用 PE- I 试块。

C.3.4.1.3 线扫描 TCG 修正后不同深度处相同反射体回波波幅应一致，且经最大补偿的声束回波的信噪比不应小于 6dB。

C.3.4.2 灵敏度设置

C.3.4.2.1 采用 TCG 方式校准灵敏度，使用 PE- I 系列试块进行。

C.3.4.2.2 扫查灵敏度的确定

扫查灵敏度由工艺验证试验确定，一般将 $\phi 1\times 25$ -4dB 设置为满屏高度的 80%~95%，作为扫查灵敏度。

C.3.4.2.3 工件的表面耦合损失和材质衰减应与试块相同，否则应进行传输损失补偿。在所采用的最大声程内最大传输损失差小于或等于 2dB 时可不进行补偿。

C.3.4.3 位置传感器的校准

C.3.4.3.1 检测前应对位置传感器进行校准。

C.3.4.3.2 校准方式是使扫查装置移动一定的距离（不小于 500mm）时对检测设备所显示的位移与实际位移进行比较，其误差应小于 1%，最大不超过 10mm。

C.3.4.4 检测系统的复核

按 4.5.12 的规定执行。

C.3.5 检测程序

C.3.5.1 依照操作指导书将检测系统的硬件及软件置于检测状态。

C.3.5.2 在待检的电熔接头上使用耦合剂。

C.3.5.3 将探头摆放到要求的位置，沿设计的路径进行扫查。探头移动轨迹偏离与扫查轨迹不能超过 3mm。

C.3.5.4 扫查时应保证扫查速度不大于 30mm/s，同时保证耦合效果和满足数据采集的要求。

C.3.5.5 扫查停止位置应超过起始位置至少 20mm；若需对焊缝进行分段扫查，则各段扫查区的重叠范围至少为 20mm。

C.3.5.6 由于电熔管件接线柱阻碍探头的移动，自动扫查时应避开。

C.3.5.7 扫查过程中应保持稳定的耦合，有耦合监控功能的仪器可开启此功能，若怀疑耦合不好，应重新扫查该段区域。

C.4 检测数据的分析和解释

按 4.6 的规定执行。

C.4.1 缺陷的定性

C.4.1.1 根据 D 型显示，结合 A 扫描显示，对缺陷的性质进行分析。

C.4.1.2 依据缺陷的位置、显示图像，确定缺陷的性质。

C.4.1.3 电熔接头缺陷性质包括：

- a) 接头中的孔洞；
- b) 熔接面夹杂，如夹物、油污、氧化皮未刮等；
- c) 冷焊；
- d) 过焊；
- e) 电阻丝错位；
- f) 管材承插不到位。

C.4.2 缺陷的表征

以 D 型显示和 C 型显示的图像中缺陷成像尺寸作为缺陷尺寸。

C.4.2.1 熔合面夹杂

熔合面夹杂缺陷为面积型缺陷，将其表征为由其外接矩形之长和宽围成的矩形。如图 C.4 所示，缺陷所在的面为聚乙烯电熔接头的熔合面（C 显示图像）， L 表示聚乙烯电熔接头单边熔合区长度。 X 为轴向的矩形边长， Y 为周向的矩形边长。当存在两个以上的熔合面缺陷相邻时，应考虑熔合面缺陷之间的相互影响。当相邻缺陷间距小于或等于较短缺陷尺寸时，应作为一个缺陷处理，间距也应计入缺陷长度。

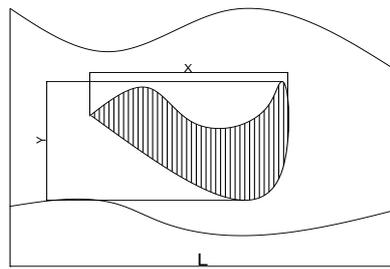


图 C.4 熔接面缺陷的表征

C.4.2.2 孔洞

孔洞缺陷为体积型缺陷，应表征其长度 X 、宽度 Y 和孔洞自身高度 h 。其表征长度 X 和宽度 Y 的方法与 C.3.1 相同，孔洞自身高度 h 采用电熔接头纵向截面的二维超声波图像中该缺陷显示最大高度表示。

C.4.2.3 电阻丝错位

采用电阻丝错位量来表征电阻丝错位的严重程度（图 C.5）。图 C.5 为聚乙烯电熔接头的轴向剖面图。图 C.5 b) 中， x_1 、 x_2 为电阻丝与其正常位置的距离，取所有错位量中的最大值作为电阻丝错位缺陷的计算尺寸，见式 (C.1)。

$$x = \max(x_1, x_2) \dots\dots\dots (C.1)$$

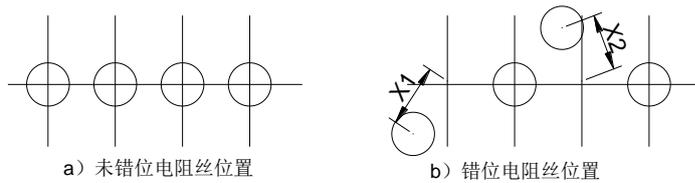


图 C.5 电阻丝错位的表征

C.4.2.4 冷焊

采用特征线与电阻丝间距离变小的百分比来表征冷焊的严重程度：

- a) 对正常焊接输入热量的电熔接头进行检测，获得截面的超声成像图，测得该图像中的特征线与电阻丝之间的距离 l ；
- b) 对待测电熔接头进行检测，获得截面的超声成像图，测得该图像中的特征线与电阻丝之间的距离 l' ；
- c) 将 l 和 l' 代入式 (C.2)，计算电熔接头的冷焊程度 H 。

$$H = \left(1 - \frac{l'}{l}\right) \times 100\% \dots\dots\dots (C.2)$$

C.4.2.5 过焊

C.4.2.5.1 过焊主要呈现以下特征：

- a) 特征线之间的距离比正常大；
- b) 特征线弯曲或亮度发生变化；
- c) 在接头中容易产生空洞。

过焊按孔洞、电阻丝错位量和过焊程度来表征。

C.4.2.5.2 过焊程度表征

采用特征线与电阻丝间距离变大的百分比来表征过焊的严重程度：

- a) 对正常焊接输入热量的电熔接头进行检测，获得截面的超声成像图，测得该图像中的特征线与电阻丝之间的距离 l ；
- b) 对待测电熔接头进行检测，获得截面的超声成像图，测得该图像中的特征线与电阻丝之间的距离 l' ；
- c) 将 l 和 l' 代入式 (C.3)，计算电熔接头的过焊程度 H' 。

$$H' = \left(\frac{l'}{l} - 1\right) \times 100\% \dots\dots\dots (C.3)$$

注： l 和 l' 测量时取最大值和最小值的平均值。

C.4.2.6 管材承插不到位

管材承插不到位以单边熔合区的轴向长度 L 来表征其严重程度表示。

C.5 缺陷评定

C.5.1 缺陷质量分级的依据

根据接头中存在的缺陷性质、数量和密切程度，其质量等级可划分为 I、II、III 级。

C.5.2 熔合面夹杂的质量分级

熔合面夹杂缺陷按表 C.3 的规定进行分级评定。

表 C.3 熔合面夹杂缺陷的质量分级

级别	与内冷焊区贯通的熔接面夹杂的缺陷长度	与内冷焊区不贯通的熔接面夹杂的缺陷长度
I	—	不大于标称熔合区长度 $L/10$
II	不大于标称熔合区长度 $L/10$	不大于标称熔合区长度 $L/5$
III	大于 II 级者	
注： L 为标称熔合区长度。		

C.5.3 孔洞

I、II 级电熔接头中不允许存在相邻电阻丝间有连贯性孔洞、与内冷焊区贯通的孔洞。孔洞缺陷按表 C.4 的规定进行分级评定。

表 C.4 孔洞缺陷的质量分级

级别	单个孔洞	组合孔洞
I	$X/L < 5\%$ 且 $h < 5\%T$	累计尺寸 $X/L < 10\%$ 且 $h < 5\%T$
II	$X/L < 10\%$ 且 $h < 10\%T$	累计尺寸 $X/L < 15\%$ 且 $h < 10\%T$
III	大于 II 级者	
注： X 为该缺陷在熔合面轴向方向上的尺寸， L 为标称熔合区长度， T 为电熔接头管材壁厚， h 为孔洞自身高度。		

C.5.4 电阻丝错位

I、II 级电熔接头中不允许存在相邻电阻丝相互接触的缺陷。电阻丝错位缺陷按表 C.5 的规定进行分级评定。

表 C.5 电阻丝错位缺陷的质量分级

级别	电阻丝错位量
I	无明显错位
II	错位量小于电阻丝间距
III	大于 II 级者或相邻电阻丝相互接触

C.5.5 冷焊

冷焊缺陷按表 C.6 的规定进行分级评定。

表 C.6 冷焊缺陷的质量分级

级别	冷焊程度 H
I	小于 10%
II	小于 30%
III	大于 II 级者

C.5.6 过焊

C.5.6.1 过焊引起孔洞缺陷时，按 C.5.3 评定。

C.5.6.2 过焊引起电阻丝错位时，按 C.5.4 评定。

C.5.6.3 过焊缺陷按过焊程度进行分级评定时，按表 C.7 的规定进行分级评定。

表 C.7 过焊缺陷的质量分级

级别	冷焊程度 H'
I	小于 20%
II	小于 40%
III	大于 II 级者

C.5.7 承插不到位

I、II 级电熔接头中不允许存在承插不到位缺陷。

C.5.8 综合评级

当接头中同时出现多种类型的缺陷时，以质量最差的级别作为接头的质量级别。

C.5.9 接头的质量接受标准由合同双方商定，或参照有关规范执行。

附录 D (规范性附录)

承压设备用板材相控阵超声横波斜入射检测方法和验收标准

D.1 范围

本附录规定了采用横波斜入射检测板材中非分层类缺陷的相控阵超声检测方法和验收标准，并将其作为纵波直入射检测的补充。

D.2 探头

D.2.1 原则上横波斜入射角度设置为 45° ，激发孔径一般应在 $8\text{mm}\sim 25\text{mm}$ 之间。

D.2.2 探头标称频率为 $2\text{MHz}\sim 5\text{MHz}$ 。

D.3 对比试块

D.3.1 对比试块应与被检板材声学特性相同或相似，厚度差不超过 10%。

D.3.2 对比试块上的人工反射体为 V 型槽，角度为 60° ，槽深为板厚的 3%(最大为 3.0mm)，槽的长度至少为 25mm 。

D.3.3 对比试块的尺寸、V 型槽位置应符合 NB/T 47013.3 附录 D 的规定。

D.4 距离-波幅曲线的确定

D.4.1 厚度小于或等于 50mm 的板材

D.4.1.1 把探头置于试块有槽的一面，使声束对准槽的宽边，找出第一个全跨距反射的最大波幅，调整仪器，使该反射波的最大波幅为满刻度的 80%，在显示屏上记录下该信号的位置。

D.4.1.2 不改变仪器的调整状态，移动探头，得到第二个全跨距信号，并找出信号最大反射波幅，在显示屏上记录下该信号的位置。

D.4.1.3 在显示屏上将 D.4.1.1 和 D.4.1.2 所确定的点连成一直线，此线即为距离-波幅曲线。

D.4.2 厚度大于 $50\text{mm}\sim 250\text{mm}$ 的板材

D.4.2.1 将探头声束对准试块背面的槽，并找出第一个 $1/2$ 跨距反射的最大波幅。调节仪器，使反射波幅为满刻度的 80%，在显示屏上记下这个信号的位置。

D.4.2.2 不改变仪器的调整状态，移动探头，以全跨距对准切槽并获得最大反射波幅，在显示屏上记下这个幅值点。

D.4.2.3 在显示屏上将 D.4.2.1 和 D.4.2.2 所确定的点连成一直线，此线即为距离-波幅曲线。

D.5 扫查方式

D.5.1 在板材的轧制面上以垂直和平行于板材主要压延方向的格子线进行扫查，格子线中心距为 200mm 。

D.5.2 当发现缺陷信号时，移动探头使之能在显示屏上得到最大反射波幅。

D.5.3 对于波幅等于或超过距离-波幅曲线的缺陷显示，应记录其位置，并移动探头用 -6dB 法来

测量其指示长度。对于波幅低于距离-波幅曲线的缺陷，当指示长度较长时，也应作记录。

D.5.4 在每一个记录缺陷位置上，应以记录缺陷中心起，至少在 200mm×200mm 的区域进行 100% 斜探头和直探头检测。

D.6 验收标准

等于或超过距离-波幅曲线的任何缺陷信号均应认为是不合格的，但是以纵波方法作辅助检测时，若发现缺陷性质是分层类的，则应按 5.3 的规定处理。

附录 E

(资料性附录)

横波端点衍射法测量缺陷自身高度

E.1 范围

E.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。

E.1.2 本附录规定了在使用相控阵超声扇扫描或线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。

E.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。

E.3 一般要求

E.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。

E.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。

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

E.3.4 选择缺陷幅度最高位置测量缺陷自身高度。

E.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%。

E.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，均应满足所探测缺陷的要求。

E.4 端点衍射法测高的方法

E.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。

E.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。

E.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%。

E.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，移动探头使声束沿缺陷高度方向扫描，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。

E.4.5 测量缺陷自身高度

E.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。

E. 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。

E. 4. 6 读取缺陷端点衍射回波峰值信号幅度应大于或等于荧光屏满刻度的 10%。

E. 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一位数。

E. 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。

附录 F
(资料性附录)
灵敏度曲线制作方法

F.1 DAC 曲线的制作方法

F.1.1 选择相控阵探头参数

根据被检件的厚度，选择需要采用的相控阵探头型号及参数。

F.1.2 选择试块

根据被检件的厚度及曲率，选择合适的制作距离-波幅曲线的灵敏度试块。

F.1.3 检测参数设置

制作 DAC 曲线前要优化检测参数，使波形信号达到最佳状态。

F.1.3.1 基础参数设置

基础参数设置包括工件厚度、声程、声速、显示延迟及抑制。

F.1.3.2 激发参数设置

激发参数设置包括激发模式、脉冲宽度、激发等级及脉冲重复频率。

F.1.3.3 接收参数设置

接收参数设置包括滤波器、低通滤波、高通滤波及检波模式。

F.1.3.4 闸门设置

闸门设置包括将闸门激活，设置闸门的起点、门宽及门高。

F.1.3.5 激发阵元设置

激发阵元设置包括激发阵元的数量、激发阵元的起始位置。

F.1.4 制作 DAC 曲线

F.1.4.1 根据理论模拟软件演示结果来确定所采用的制作 DAC 曲线的角度，该角度对于扇扫描一般选在接近扇扫描角度范围内的中间角度，对于线扫描一般选择接近于垂直坡口面的角度。

F.1.4.2 将聚焦深度设置在所采用的最大检测声程的位置。

F.1.4.3 根据具体的检测要求选择制作 DAC 曲线的第一个基准孔。将相控阵探头放在试块上所选择的第一个基准孔上，移动探头找到该反射体最大波，“调节增益”，使第一基准孔的反射波为荧光屏满幅度的 80% ($\pm 5\%$)，该波高为基准波高，记录该反射体的波高；然后保持灵敏度不变，依次探测其他反射体，找到最大波高，并记录各反射体的最大波高；将记录的不同深度的反射体及其对应的最大波高连接起来，即成为 DAC 曲线。

F.1.4.4 依据灵敏度表绘制出评定线、定量线和判废线。

F.2 TCG 曲线的制作方法

F.2.1 选择相控阵探头参数

根据被检件的厚度，选择需要采用的相控阵探头型号及参数。

F.2.2 选择试块

根据被检件的厚度及曲率，选择合适的制作距离-波幅曲线的灵敏度试块。

F.2.3 检测设置

F.2.3.1 确定扇扫描角度范围，然后将扇形角度范围输入。

F.2.3.2 设置聚焦深度。聚焦深度设置在最大检测声程的位置。

F.2.3.3 生成延迟法则。

F.2.3.4 参数设置

检测参数设置同 F.1.3。

F.2.4 制作 TCG 曲线

F.2.4.1 设置基准波高为满屏高度的 $80\pm 5\%$ 。

F.2.4.2 灵敏度校准

将相控阵探头放在试块上选定的第一个基准孔上，找到最大波高，调节增益，使其达到满屏高度的 70%，移动探头使扇扫描角度范围内的每个角度都要扫查到该反射体，此时形成一个幅度的包络线，该包络线不能有超过满屏高度 100%的信号，也不能有低于满屏高度 0%的信号，然后进行校准。校准完成后再次移动探头，会出现一个幅度的包络线，若该包络线的波高在满屏高度的 $80\pm 5\%$ ，说明校准符合要求，否则重新校准。

F.2.4.3 进入制作 TCG 模式

灵敏度校准符合要求后，开始进入制作 TCG 曲线模式。将探头放在第一个基准孔上，找到最大波高，调节增益，使其达到满屏高度的 70%，移动探头使扇扫描角度范围内的每个角度都要扫查到该反射体，此时形成一个幅度的包络线，该包络线不能有超过满屏高度 100%的信号，也不能有低于满屏高度 0%的信号。完成后，点击增加点，然后再次在试块上移动探头，会出现一个幅度的包络线，该包络线的波高应在满屏高度的 $80\pm 5\%$ 。若包络线的波高超出满屏高度的 $80\pm 5\%$ 的范围，则删除该点重新制作。若符合要求，依次进入下一点的制作，直到最后一点制作完毕，确定并形成 TCG 曲线。