

钢制承压设备焊接接头超声相控阵检测

Ultrasonic phased arrays testing of steel pressure equipments welded joint

2018 - 01 - 17 发布

2018 - 03 - 01 实施

天津市市场和质量技术监督委员会 发 布

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的要求编写。

本标准由天津市市场和质量管理委员会提出并归口。

本标准起草单位：天津市特种设备监督检验技术研究院、天津市滨海新区塘沽锅炉压力容器检验所、天津大学。

本标准的主要起草人：赵秋洪、司永宏、韦晨、刘恽欢、刘子方、刘永长、段瑞、祖宁、高宏、高利慧、王恒、刘宏臣、李卫星、惠楠、牛卫飞、王泽军、萧艳彤。

钢制承压设备焊接接头超声相控阵检测

1 范围

本标准规定了钢制承压设备焊接接头超声相控阵检测的术语和定义、一般要求、扫描类型及显示方式的选择、检测和质量分级、报告和存档。

本标准适用于壁厚为3.5 mm~200 mm铁素体钢制承压设备全熔化焊焊接接头的检测，也适用于在役承压设备焊接接头的超声相控阵检测。

本标准不适用于奥氏体钢制承压设备焊接接头的超声相控阵检测。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- JB/T 7913 超声波检测钢制对比试块的制作与校验方法
- JB/T 10063 超声探伤用1号标准试块 技术条件
- JB/T 11731 无损检测 超声相控阵探头通用技术条件
- 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

3 术语和定义

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0点以及X、Y和Z坐标的含义，如图1所示。

3.2

扫查面 scanning surface

放置探头的工件表面，超声波声束从该面进入工件内部。如图1中的XOY面。

3.3

相关显示 relevant indication

由缺陷引起的显示为相关显示，相关显示分为线型缺陷、面积型缺陷和体积型缺陷，线型缺陷分为线状缺陷和条状缺陷。

3.4

非相关显示 no-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)引起的显示为非相关显示。非相关显示包括由错边、根焊和盖面焊以及坡口形状的变化等引起的显示。

3.5

超声相控阵检测 ultrasonic phase array testing

超声相控阵检测是将按一定规律排列的相控阵探头中多个声电元件(晶片)，按预先规定的设置(延时、增益、振幅等)激发，被激发的发射(或接收)的超声波叠加，形成一个整体波阵面，检测工件中缺陷的情况。在一定范围内，超声相控阵能有效控制发射(或接收)声束在材料中的偏转和聚焦，为确定缺陷的形状、大小和方向提供了比单个探头系统更强的能力。

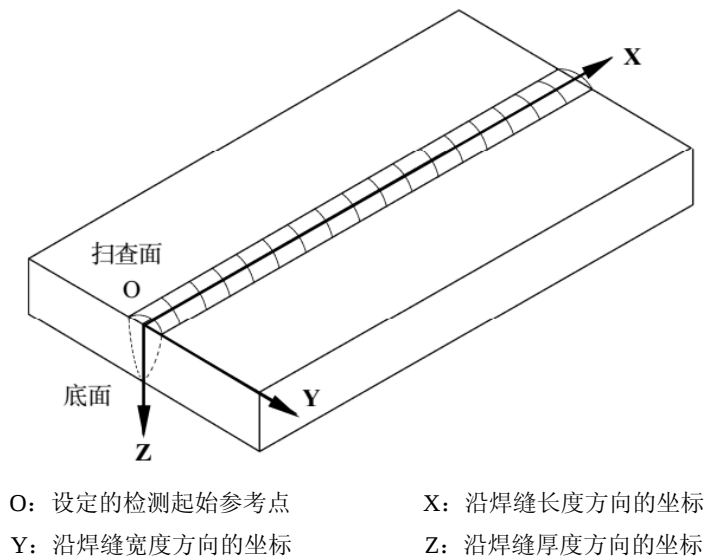


图1 坐标定义

3.6

电子扫描 electronic scanning

电子扫描也称作线形扫描，是将相同的延时法则多路传输到一组活动元件(晶片)上。电子光栅扫查沿相控探头长度上以一个恒定的角度进行时，相当于传统超声探头执行一个光栅扫描。

3.7

扇形扫描 sector scanning

扇形扫描也称作方位角扫描或者斜角扫描，是采用相同的晶片和特定的声束，在一定角度范围内的扫描。

3.8

固定角度扫描 fixed angular scanning

固定角度扫描是采用特定的延时法则形成固定角度的声束，不需要声束移动，而是通过锯齿形移动相控阵探头进行检测。固定角度扫描是电子扫描和扇形扫描的特例。

3.9

动态深度聚焦 dynamic depth focusing

动态深度聚焦(DDF)，是利用聚焦深度的不同来完成扫描，即用一个单发的聚焦脉冲，从设定的深度值上接收信号，在接收端重新聚焦。

3.10

分区扫查 partition scanning

是指将焊缝沿厚度方向分成若干个区，每个区用一对或两对聚焦声束检测，同时采用非聚焦声束检测。扫查器对焊缝扫查一次，即可对整个焊缝厚度方向的分区进行全面检测。

3.11

全自动超声相控阵检测 fully automatic ultrasonic phased array testing

是指将被检焊缝分区后,使用多通道系统扫查器对焊缝采用自动扫查和自动声耦合,完成对焊缝厚度方向全面检测,并自动将检测结果和声耦合结果显示在图像上的检测过程。

3.12

锯齿形扫查 zigzag scanning

锯齿形扫查是指将探头垂直于焊缝中心线放置在扫查面上,作锯齿形扫查,如图2所示。探头前后移动的范围应保证扫查到全部焊接接头截面,在保持探头垂直焊缝作前后移动的同时,还应作10°~15°的左右转动。

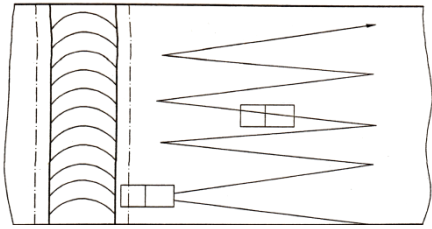
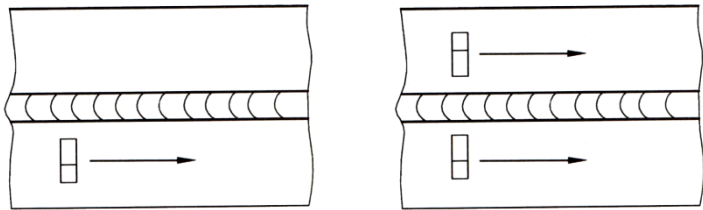


图2 锯齿形扫查

3.13

线性扫查 linear scanning

线性扫查是指探头在距焊缝中心线一定距离的位置上,平行于焊缝方向进行的直线移动,如图3所示。



(a)采用一个相控阵探头的线性扫查 (b)采用两个相控阵探头的线性扫查

图3 线性扫查

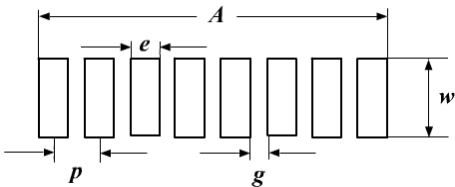
3.14

主动孔径 active aperture

主动孔径(A)是相控阵探头激发晶片数的有效长度。主动孔径长度按照公式(1)计算,如图4所示。

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

式中:



A—主动孔径 g —相邻晶片之间的间隙 e —晶片宽度 n —晶片数量
 p —相邻两晶片中心线间距 W —被动孔径(即晶片宽度)

图4 主动孔径

3.15

P 显示 P-scan

是指基于超声波在焊缝中的传播规律,焊缝中出现不均匀性(如存在缺陷)时,声波在缺陷处会发生反射回波,并利用正视、侧视和俯视投影成像来实时表征焊缝截面的超声检测和缺陷定位。

4 一般要求

4.1 检测人员

4.1.1 检测人员应取得特种设备行业超声检测 II 级及以上资格证书;并进行设备的性能、调试方法及评定等培训,方可从事相控阵规定的检测工作。

4.1.2 采用超声相控阵横波端点衍射法测量缺陷自身高度,还要作超声相控阵横波端点衍射法实际操作培训。

4.2 超声相控阵设备、探头和试块

4.2.1 超声相控阵设备

4.2.1.1 超声相控阵设备应符合下列要求:

- 应为脉冲反射式仪器,其工作频率范围为 1MHz~10MHz。水平线性误差不大于 1%,垂直线性误差不大于 5%,每年至少校准一次。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 ± 1 dB 以内,最大累计误差不超过 1dB。其闸门的位置、宽度及电平任意可调。
- 应能提供足够数量的检测通道,以保证扫查时对整个焊接接头体积进行全面检测。
- 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。
- 数字采样频率至少为 10 倍所采用探头的标称频率。
- 应具有聚焦法则生成的模拟软件,能够对超声波束特征参数进行直接修改。
- 应具有角度增益补偿功能。

4.2.1.2 记录系统应符合下列要求:

- C 级适用于工件厚度大于等于 6mm~200mm 焊接接头的检测;
- 采用编码器记录扫查位置时,应配置校准系统。记录系统应清楚地指示出缺陷相对于扫查起始点的位置。
- 扫查记录可采用 A 显示、B 显示、C 显示、D 显示 P 显示和扇形扫描等方式记录。检测结果应显示在扫查记录上。
- 记录系统宜具有检测过程中耦合监视的功能。

4.2.2 探头

4.2.2.1 采用线性相控阵探头,线性相控阵探头必须符合产品质量技术要求,测量方法参照 JB/T 11731 标准要求。

4.2.2.1.1 中心频率要求检验结果允许与标称值偏差 $\pm 10\%$ ；相对带宽检验结果允许与标称值偏差 $\pm 15\%$ 。

如果高低端频率 f_L 和 f_H 之间的频谱有多于一个的最大值，相邻最小值与最大值之间的振幅差不超过3dB。对于相对带宽超过100%的宽带探头，低端频率不应高于 $f_L+10\%$ ，高端频率不应低于 $f_H-10\%$ 。

4.2.2.1.2 脉冲持续时间要求检验结果允许与标称值偏差 $\pm 10\%$ 。

4.2.2.1.3 阵元焦距和聚焦长度要求若探头有 n 个阵元，测量第1个阵元、第 n 个阵元、最中间1个阵元，共3个阵元。检验结果允许与标称值偏差 $\pm 15\%$ 。

注：最中间1个阵元的选取： n 为偶数时，取第 $n/2$ 个阵元， n 为奇数时，取第 $(n+1)/2$ 个阵元。

4.2.2.1.4 楔块波束角要求若探头有 n 个阵元，测量第1个阵元、第 n 个阵元、最中间1个阵元，共3个阵元。频率低于2MHz的探头楔块波束角应在标称角度的 $\pm 3^\circ$ 以内，频率等于大于2MHz的探头楔块波束角在标称角度的 $\pm 2^\circ$ 以内。

注：最中间1个阵元的选取： n 为偶数时，取第 $n/2$ 个阵元， n 为奇数时，取第 $(n+1)/2$ 个阵元。

4.2.2.1.5 性能一致性计算要求如下：

- a) 灵敏度一致性：标准差 $S \leq 1$ dB；
- b) 中心频率一致性：变异系数 $C \cdot V \leq 3.3\%$ ；
- c) 相对带宽一致性：变异系数 $C \cdot V \leq 5\%$ ；

4.2.2.2 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。

4.2.2.3 相控阵探头的晶片数量、晶片尺寸及间距，应根据检测要求选择。

4.2.2.4 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。

4.2.2.5 楔块形状应与被检工件曲率相匹配。

4.2.3 试块

4.2.3.1 试块分为校准试块、参考试块及模拟试块。

4.2.3.2 试块的材料

制作试块的材料，应符合下列要求：

- a) 试块应采用与被检测工件声学性能相同或相似的材料制成。
- b) 试块的材料用直探头检测时，不得出现大于 $\Phi 2$ 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和JB/T 7913的规定。

4.2.3.3 校准试块(标准试块)

校准试块是指用于超声相控阵检测系统性能的测试及增益补偿调试的试块。本标准采用的校准试块为CSK-I A试块和声束控制评定试块。

4.2.3.4 参考试块(对比试块)

参考试块，应符合下列要求：

- a) 参考试块用于调节检测灵敏度的试块。本标准采用的参考试块有PRB-I、PRB-II、PRB-III、PRB-IV、及GD系列试块。
- b) 参考试块的外形尺寸应能代表被检工件的特征，试块厚度应与被检工件的厚度相对应。如果涉及到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。

4.2.3.5 模拟缺陷试块

模拟缺陷试块用于检测工艺验证及超声相控阵横波端点衍射法测高验证。模拟试块应满足下列要求：

- a) 模拟缺陷试块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，包括裂纹、未熔合及未焊透。
- b) 模拟缺陷试块中的缺陷位置应具有代表性，至少应包含表面和内部。

- c) 模拟缺陷试块中的缺陷自身高度不大于表 9 规定, 缺陷的长度最小值为 15 mm, 最大值满足表 9 的规定。

4.3 扫查方式

4.3.1 本标准采用直接接触式超声脉冲反射法进行检测。

4.3.2 扫查方式分为锯齿形扫查和线性扫查。

4.3.3 锯齿形扫查是不采用编码器记录扫查位置, 其行走方式与常规手动超声波锯齿形扫查完全相同。

4.3.4 线性扫查是采用编码器记录扫查位置, 将相控阵探头与编码器相连, 或将相控阵探头和编码器安装在扫查器中, 推动其平行于焊缝方向直线移动。线性扫查分为手动扫查和自动扫查两种形式。手动线性扫查是采用手动方式推动探头或扫查器移动。自动线性扫查是采用机械方式推动扫查器移动。

4.4 显示方式

超声相控阵显示方式分为按声程显示成像和按实际几何结构显示成像两种方式。根据检测要求选择。

4.5 扫描类型

扫描类型分为电子扫描、扇形扫描和固定角度扫描。要根据具体的检测情况选择扫描类型。一般采用扇形扫描。

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

对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参考试块, 通过对比试验进行曲率补偿。

4.7 查灵敏度

扫查灵敏度不低于基准灵敏度, 扫查横向缺陷时, 灵敏度应提高6dB。

4.8 延时法则

4.8.1 应根据所采用的扫描类型及相控阵探头参数确定延时法则, 明确延时法则中涉及到的具体参数。

4.8.2 相控阵探头参数:

- a) 晶片参数: 晶片数量、晶片宽度、晶片间隙及晶片单元宽度。
- b) 楔块参数: 楔块尺寸、楔块角度及楔块声速。

4.8.3 延时法则参数:

- a) 晶片数量: 设定延时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) 采用聚焦声束检测时，设定聚焦声程或深度，测出焦柱尺寸。

4.9 检测系统的复核

4.9.1 扫查灵敏度的复核时机

每次检测前应对灵敏度进行复核，遇到下述情况之一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、耦合剂和仪器调节钮发生改变时。
- b) 检测人员怀疑扫描量程或扫描灵敏度有变化时。
- c) 连续工作 4h 以上。
- d) 工作结束时。

4.9.2 扫查灵敏度的复核

一般对距离-波幅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

每天检测之前应对编码器进行复核。编码器的校准符合6.5.10的规定，否则应重新校准。

4.10 缺陷自身高度测量方法

母材厚度为3.5 mm~200 mm，应采用超声相控阵横波端点衍射法和超声相控阵成像技术测量缺陷自身高度。超声相控阵横波端点衍射法测量缺陷自身高度见附录A(规范性附录)。

4.11 与其他无损检测方法综合应用

- 4.11.1 对于母材厚度为 6 mm~200 mm 的焊缝，也可采用 TOFD 方法辅助测量缺陷自身高度。
- 4.11.2 对超声相控阵检测发现表面可疑的显示，可采用 NB/T 47013.4~NB/T 47013.6 中有效方法辅助检测。

5 扫描类型及显示方式的选择

5.1 对接接头宜采用扇形扫描检测。工件厚度为 3.5 mm~8 mm(不包括 8 mm)的焊缝应采用二次反射波、一次反射波、三次反射波进行检测，工件厚度大于 30 mm 的焊缝宜采用直射波、一次反射波设置进行检测。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 5 和图 6。

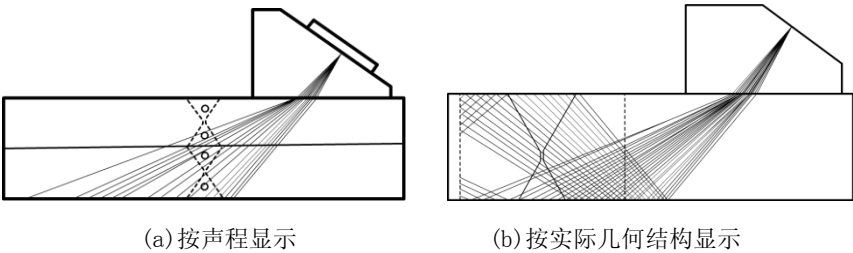


图5 采用扇形扫描检测示意图

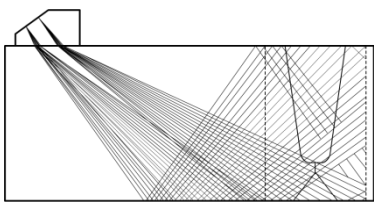


图6 采用多次扇形扫描检测示意图

5.2 角接头应采用扇形扫描和电子扫描组合检测。显示方式宜采用按实际几何结构显示成像，见图7、图8。

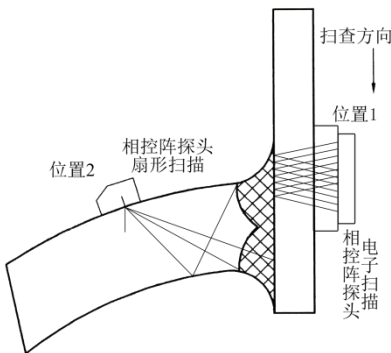


图7 插入式管座角焊缝

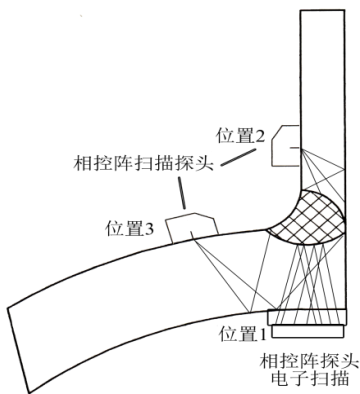


图8 安放式管座角焊缝

- 5.3 T型接头应采用扇形扫描和电子扫描组合检测。显示方式宜采用按实际几何结构显示成像，见图9~图11。
- 5.4 根据被检工件的焊缝类型及产生缺陷的特点，也可辅以特定角度的扇形扫描或电子扫描及串列扫描检测。
- 5.5 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形扫描、手动电子扫描及手动固定角度扫描。

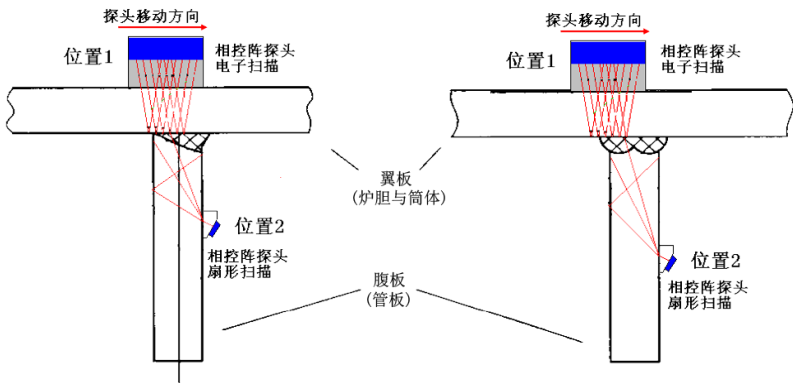


图9 T型接头（型式I）

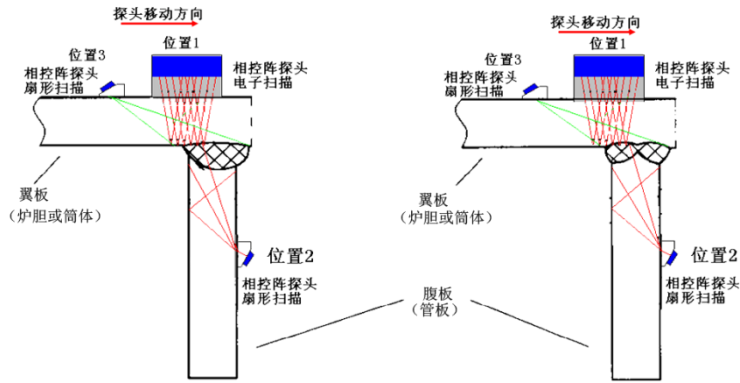


图10 T型接头（型式II）

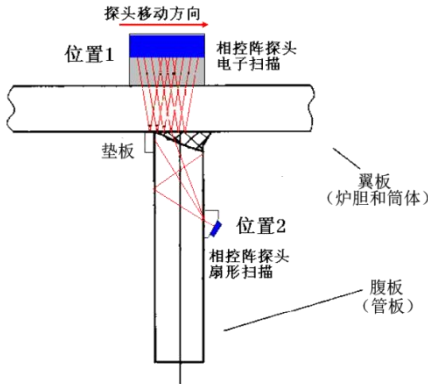


图11 T型接头（型式III）

6 钢制承压设备焊接接头超声相控阵检测和质量分级

6.1 适用范围

- 6.1.1 本章规定了钢制承压设备焊接接头的超声相控阵检测及质量分级。
- 6.1.2 本条款适用焊接接头的超声检测，焊接接头范围见表 1。

表1 焊接接头超声检测适用范围 单位为 mm

承压设备 类别	焊接接头类型	工件厚度 t	检测面直径	检测技术等 级要求
锅炉、 压力容器	筒体（或封头） 对接接头	≥6~200	≥500，纵向对接接头时，内外径比≥70%	6.2.2
			≥100~500 的纵向对接接头时且内外径比≥70%	6.2.2
			≥159~500 的环向对接接头	6.2.2
	接管与筒体（或封头） 角接头	≥6~200	插入式：筒体（或封头）≥500 且内外径比≥70%，接管公称直径≥80	6.2.2
			安放式：筒体（或封头）≥300 且接管公称直径≥100	
	T 型焊接接头	≥6~200	——	6.2.2
	管子环向对接接头	≥6~150	外径≥159	6.2.2
	管子纵向对接接头	≥6~150	外径≥100，内外径比≥70%	6.2.2
压力管道	环向对接接头	≥6~150	外径≥159	——
	纵向对接接头	≥6~150	外径≥100，内外径比≥70%	——

本章适用于母材厚度为6 mm~200 mm的全熔化焊焊接接头的超声相控阵检测。如有需求，母材厚度为3.5 mm~6 mm的环向对接接头超声相控阵检测可参照第7章进行。

6.1.3 本章不适用于内径小于或等于 200 mm 的管座角向接头检测。

6.2 检测技术等级

6.2.1 检测技术等级的选择

超声相控阵检测技术等级分为 A、B、C 三个检测级别。超声相控阵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。对母材厚度为 3.5 mm~8 mm(不含 8 mm)的工件按 A 级进行检测。

6.2.2 不同检测技术等级的要求

6.2.2.1 A 级检测：

A级仅适用于母材厚度为6mm~40mm的焊接接头，用多种角度的横波声束采用直射波法和一次反射法在焊接接头的单面单侧进行检测，如有条件限制，也可选择双面单侧或单面单侧进行检测。一般不需要进行横向缺陷定量。

6.2.2.2 B 级检测：

- a) B级适用于工件厚度为6mm~200mm焊接接头的检测；
- b) 焊接接头一般应进行横向缺陷的检测；

c) 对于按NB/T 47013.3-2015附录N要求进行双面双侧检测的焊接接头，如受几何条件限制或由于堆焊层（或复合层）的存在而选择单面双侧检测时，还应补充斜探头作近表面缺陷检测；

表2 B级检测时不同母材厚度采用的检测方法

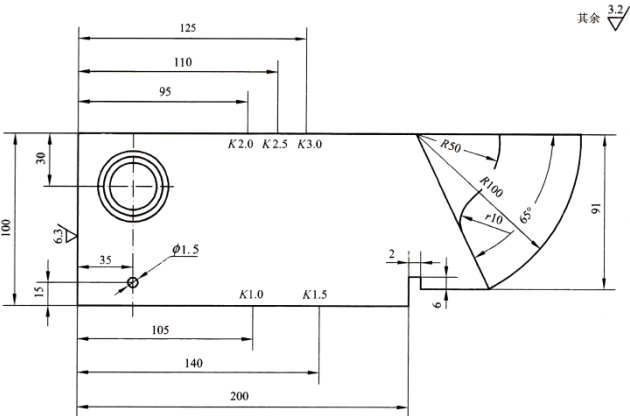
母材厚度，mm	检测方法
6~40	多种角度横波声束，用直射法和一次反射法在焊接接头的单面双侧检测。
40~100	多种角度的横波声束用直射法在焊接接头的双面双侧检测；多种角度的横波声束用直射法和一次反射法在焊接接头的单面双侧进行检测；如受几何条件限制，可用多种角度的横波声束在焊接接头双面单侧、单面双侧或单面单侧检测。
100~200	多种角度的横波声束，直射法在焊接接头双面双侧检测。由于结构限制，只能在单面双侧或单面单侧进行检测时，应将焊缝余高磨平。
应作横向缺陷检测。检测时，在焊缝两侧边缘使探头与焊缝中心线成10°~30°作两个方向的斜平行扫查。对余高磨平的焊缝，将探头放在焊缝及热影响区上作两个方向的平行扫查。	

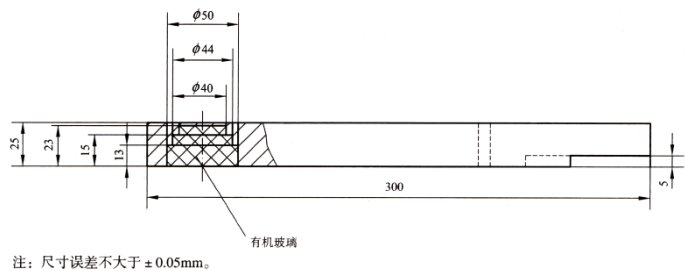
6.2.2.3 C级检测：

- a) C级适用于工件厚度大于等于6mm~200mm焊接接头的检测；
- b) 采用C级检测时应将焊接接头的余高磨平。对焊接接头斜探头扫查经过的母材区域要用直探头进行检测，检测方法按6.3.7的规定进行；
- c) 工件厚度大于15mm的焊接接头一般应在双面双侧进行
- d) 对于单侧坡口角度小于5°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；
- e) 工件厚度大于40mm的对接接头，还应增加直探头检测；
- f) 母材厚度为6mm~100 mm时，用多种角度的横波声束采用直射法和一次反射法在焊接接头的单面双侧进行检测。
- g) 母材厚度为100 mm~200 mm时，用多种角度的横波声束采用直射法在焊接接头的双面双侧进行检测。
- h) 应进行横向缺陷的检测。检测时，将相控阵探头放在热影响区上作两个方向的斜平行扫查。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查。

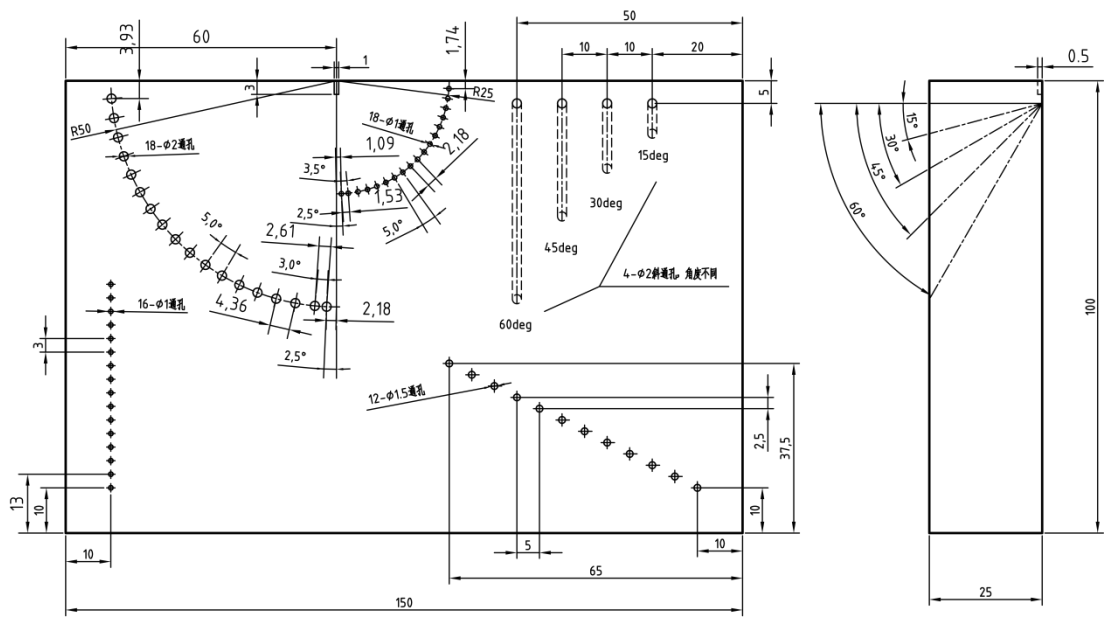
6.3 试块

- 6.3.1 试块制作符合 4.2.3 的规定。
- 6.3.2 采用的校准试块为 CSK- I A 试块和声束控制评定试块。其形状和尺寸见图 12。
- 6.3.3 采用的参考试块为 PRB- I 、PRB- II 、PRB- III和 PRB- IV 系列试块，其形状见图 13~16 的规定。图中除特别说明外，粗糙度均为 Ra=3.2μm，尺寸误差不大于±0.5 mm。适用范围见表 3。





(a) CSK- I A 试块



(b) 声束控制评定试块

图12 校准试块

表3 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		

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参考试块，反射孔的位置及试块的宽度可参照 PRB- V 试块确定。

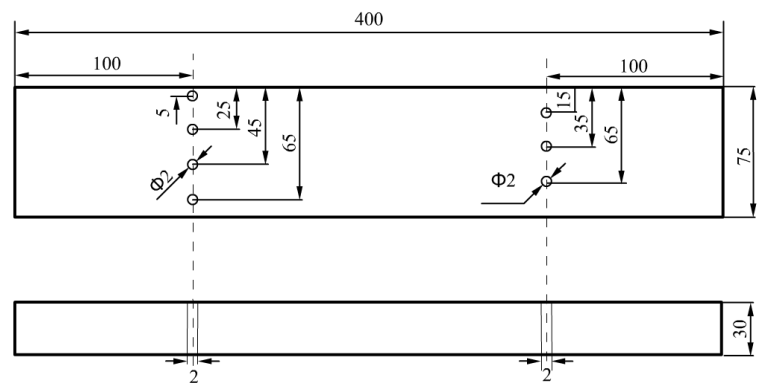


图13 PRB- I 试块（推荐）

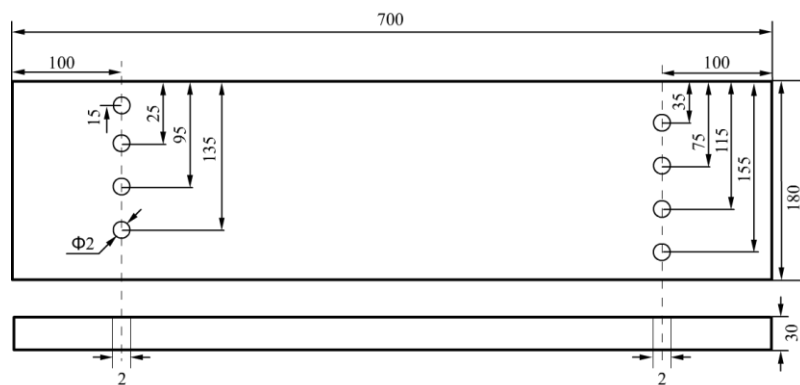


图14 PRB- II 试块（推荐）

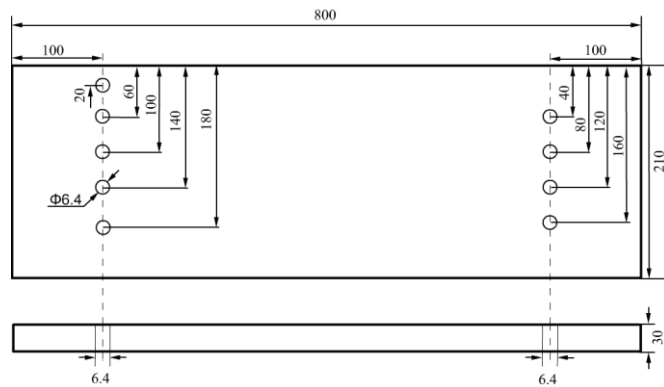


图15 PRB-III试块（推荐）

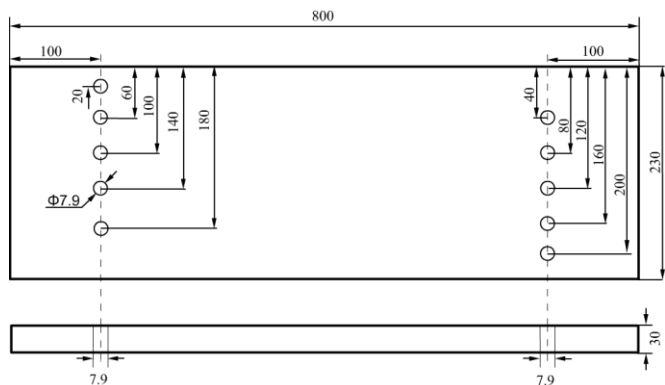
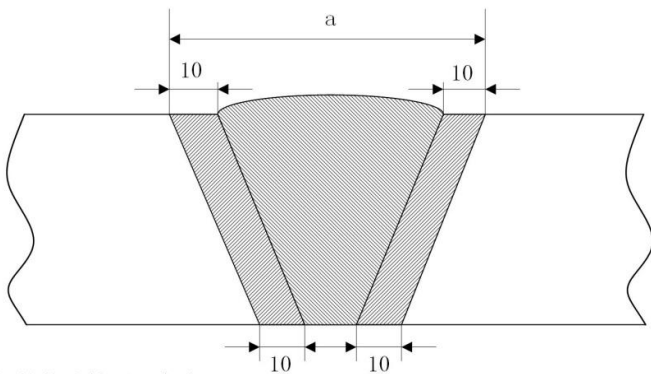


图16 PRB-IV试块（推荐）

6.4 检测准备

6.4.1 检测区域

- 6.4.1.1 检测区由焊接接头检测区宽度和焊接接头检测区厚度表征。
- 6.4.1.2 焊接接头检测区宽度为焊缝本身加上焊缝熔合线两侧各 10mm。V 型坡口对接接头检测区示意图见图 17。



注：a表示焊接接头检测区宽度

图17 检测区示意图

- 6.4.1.3 对接接头检测区厚度应为工件厚度加上焊缝余高。
 - 6.4.1.4 超声检测应覆盖整个检测区。必要时，可增加检测探头数量、增加检测面（侧）、增加辅助检测或采用其他无损检测方法，确保检测能覆盖整个检测区。
- 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 $6.3\mu\text{m}$ ，喷丸表面不大于 $12.5\mu\text{m}$ 。
 - 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，扫查方向标记用箭头表示。所有标记应对扫查无影响。

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（改成本标准附录）。或用于线性扫查时沿步进方向行走的直线。

6.4.4.2 在检测之前，应在工件扫查面上画参考线，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 $\pm 0.5\text{ mm}$ 。

6.4.5 耦合剂

6.4.5.1 应选用具有良好的透声性、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。

6.4.5.2 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。

6.5 检测系统的调试

6.5.1 相控阵探头的选择

6.5.1.1 相控阵探头的检测频率一般为 $1\text{MHz}\sim 10\text{MHz}$ 。

6.5.1.2 相控阵探头的晶片数根据检测工件厚度选择，一次激发的晶片数不低于 16 个晶片。采用电子扫描进行纵波检测时，一次激发晶片数不低于 4 个晶片。与工件厚度有关的相控阵探头参数选择见表 4。

6.5.1.3 相控阵探头与检测面应紧密接触，当检测面曲率半径 $R\leq W^2/4$ 时，相控阵探头楔块应采用曲面楔块，使其与检测面相吻合。相控阵探头参数依据表 4 进行选择。

表4 检测焊接接头时相控阵探头参数选择表

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	>80~120	15~23	4~5
>15~80	7.0~15	4~7.5	>120~200	15~23	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。 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。 3.被动孔径(W)应大于等于 6 mm。					

6.5.2 选择延时法则

根据检测对象现场条件选择扫描类型确定延时法则。延时法则的具体参数符合4.8的规定。

6.5.3 检测区域覆盖

根据延时法则的参数，用超声相控阵设备中的理论模拟软件进行演示，调整探头前端距焊缝中心线的距离，使所选用的检测声束将检测区域完全覆盖，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，应重新选择延时法则参数。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 距离-波幅曲线的制作

- 6.5.4.1 距离-波幅曲线应按所用的相控阵设备和相控阵探头在 PRB- I 、 PRB- II 、 PRB-III、PRB-IV 试块制作而成，距离-波幅曲线的制作方法见附录 B(规范性附录)。
- 6.5.4.2 检测面曲率半径 $R \leq \lambda^2/4$ 时，距离-波幅曲线的制作应在与检测面曲率相同的参考试块上进行。
- 6.5.4.3 在整个检测范围内，距离-波幅曲线不得低于荧光屏满刻度的 20%。
- 6.5.4.4 在制作距离-波幅曲线过程中，必须控制噪声信号，信噪比必须大于等于 10dB。

6.5.5 角度增益补偿

进行扇形扫描时应进行角度增益补偿，角度增益补偿的调试在参考试块或CSK- I A试块上进行。采用电子扫描时，还应在CSK- I A试块或参考试块上进行晶片增益修正。

6.5.6 距离-波幅曲线的灵敏度选择

距离-波幅曲线灵敏度按表5规定。

表5 距离-波幅曲线的灵敏度

板厚, mm	评定线	定量线	判废线
>6~40	$\Phi 2 \times 30-18\text{dB}$	$\Phi 2 \times 30-12\text{dB}$	$\Phi 2 \times 30-4\text{dB}$
>40~100	$\Phi 2 \times 30-14\text{dB}$	$\Phi 2 \times 30-8\text{dB}$	$\Phi 2 \times 30+2\text{dB}$
>100~200	$\Phi d-16\text{dB}$	$\Phi d-10\text{dB}$	Φd
注： 1. 检测横向缺陷时，应将各线灵敏度均提高 6dB。 2. 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。			

6.5.7 相控阵探头配置

锯齿形扫查检测选择单探头配置。线性扫查检测既可选择单探头配置，也可选择双探头配置。

6.5.8 扫查覆盖

- 6.5.8.1 扇形扫描所使用声束角度的增量，应使得区域内相邻声束的重叠至少为 50%。
- 6.5.8.2 电子扫描相邻激活孔径之间的重叠，应至少为孔径宽度的 50%。
- 6.5.8.3 采用线性扫查时，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。需要多个线性扫查覆盖整个焊接接头体积时，各线性扫查之间的重叠至少为所用相控阵探头线性阵列长度的 10%。
- 6.5.8.4 锯齿形扫查时，为确保检测时超声声束能扫查到工件的整个被检区域，相邻两次探头移动间隔不应超过晶片长度(λ)的 50%。

6.5.9 扫查增量的设置

扫查增量指扫查过程中A扫描信号间的空间采样间隔。检测前应将检测系统设置为根据扫查增量采集信号。扫查增量值与工件厚度有关，按表6的规定进行。

6.5.10 编码器的校准

- 6.5.10.1 检测前应对编码器进行校准。

6.5.10.2 校准方式是使编码器移动一定距离，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。

表6 扫查增量值的设置

工件厚度 t , mm	扫查增量最大值 $\Delta x_{\max}$ mm
$t \leq 10$	1.0
$10 < t \leq 150$	2.0
$150 < t \leq 200$	3.0

6.5.11 耦合监控的设置

6.5.11.1 耦合监控的设置方法由使用的超声相控阵设备而定。在被检工件或与被检工件特征相同的试块上调试耦合监控。将底波最大波幅调整到满屏高度的80%(误差为 $\pm 5\%$)，在此基础上提高6dB，即为耦合监视的灵敏度。

6.5.11.2 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。线性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。

6.5.12 温度

6.5.12.1 检测前要采用常规方法实测被检工件的声速。

6.5.12.2 检测校准与实际检测间的温度差应控制在15℃以内。超出此范围应重新调试。

6.5.12.3 检测时，被检工件表面温度应控制在0℃~50℃。超出此范围应采用特殊方法检测。

6.6 检测方法

6.6.1 平板对接接头的检测

平板对接接头检测宜采用线性扫查，线性扫查不可行时采用锯齿形扫查。检测原则满足5.2.2和6.2的规定。

6.6.2 曲面工件(直径小于等于500 mm)对接接头的检测

6.6.2.1 工件检测面曲率半径应在对比试块的曲率半径的0.9倍~1.1倍范围内。

6.6.2.2 检测面为曲面时，应优先按平板对接接头的检测方法进行检测。对于受几何形状限制，无法进行检测的部位应予以记录。

6.6.2.3 纵缝检测时，参考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) 纵缝检测时要进行缺陷定位的修正。

6.6.2.4 环缝检测时，参考试块的曲率半径应为检测面曲率半径的0.9~1.5倍。

6.6.3 管座角焊缝的检测

6.6.3.1 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焊接接头结构的主要缺陷。检测原则满足5.2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四种方式，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7位置1。
- b) 在容器内壁采用电子扫描检测，见图8位置1。
- c) 在接管外壁采用扇形扫描检测，见图8位置2。
- d) 在容器外壁采用扇形扫描检测，见图7位置2和图8位置3。

6.6.3.3 检测要求

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) 相控阵探头参数的选择按6.5.1规定执行。
- b) 管座角焊缝扇形扫描的距离-波幅曲线灵敏度按表4规定。电子扫描的距离-波幅曲线灵敏度按表7的规定。

表7 管座角焊缝电子扫描(纵波)距离-波幅曲线的灵敏度

评定线	定量线	判废线
Φ2 mm 平底孔	Φ3 mm 平底孔	Φ6 mm 平底孔

- c) 电子扫描距离-波幅曲线的制作和基准灵敏度的确定

采用电子扫描(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再提高6dB。

6.6.3.4 扫查方式

扫查方式优先采用线性扫查，线性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

本条款适用于厚度为6 mm~50 mm的承压类特种设备全熔化焊T型接头的超声相控阵检测。其他用途的全熔化焊T型焊接接头的超声相控阵检测也可参照本条款的规定执行。

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5.3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9位置1、图10位置1和图11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9位置2、图10位置2和图11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10位置3。

6.6.4.4 检测要求

T 型接头采用扇形扫描和电子扫描(纵波)进行检测。

- a) 相控阵探头参数的选择按6.5.1规定执行。
- b) 距离-波幅曲线灵敏度的确定

扇形扫描时，距离-波幅曲线灵敏度应以腹板厚度按表4确定；电子扫描检测时，距离-波幅曲线灵敏度应以翼板厚度按表8确定。

表8 T 型接头电子扫描(纵波)距离-波幅曲线的灵敏度

评定线	定量线	判废线
Φ2 mm 平底孔	Φ3 mm 平底孔	Φ4 mm 平底孔

- c) 电子扫描距离-波幅曲线的制作和基准灵敏度的确定

T型接头电子扫描距离-波幅曲线的制作和基准灵敏度的确定与6.6.3.3 c)相同。

- d) 扫查灵敏度一般在基准灵敏度基础上再提高6dB。

6.6.4.5 扫查方式

扫查方式优先采用线性扫查，线性扫查不可行时采用锯齿形扫查。

6.6.4.6 其它

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6.4.5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扫查方式。优先选用线性扫查，线性扫查不可行时采用锯齿形扫查。

6.7.7 扫查速度

6.7.7.1 锯齿形扫查速度

锯齿形扫查探头移动速度不应超过150 mm/s。

6.7.7.2 线性扫查速度

采用线性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。

最大扫查速度按公式(2)计算：

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

式中：

式中：

- $v_{\max}$ ——最大扫查速度，mm/s；
- PRF ——脉冲重复频率，Hz； $PRF < 2n_b C/L$ ；
- C ——声速；
- L ——最大检测声程；
- X ——设置的扫查增量，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；
- n_b ——采用几次波检测。

6.8 扫查图像显示

- 6.8.1 扫查数据以图像形式显示，可用扇形显示、B显示、C显示、及P显示等形式。
- 6.8.2 在扫查数据的图像中应有编码器扫查位置显示。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 检测数据的有效性评价

- 6.9.1.1 分析数据之前应对所采集的数据进行评估以确定其有效性，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 相邻两个缺陷(非点状)，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。该缺陷深度为两缺陷深度较小值；缺陷长度为两缺陷在X轴投影上的左、右端点间距离；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)。

6.9.2.3 分析检测数据是否存在相关显示，对于确认为相关显示的，锅炉压力容器焊接接头应按 6.10 进行评定，压力管道焊接接头按 7.8 进行评定。

6.10 缺陷的评定和质量分级

6.10.1 凡判定为裂纹、坡口未熔合及未焊透的显示，评为Ⅲ级。

6.10.2 凡在判废线(含判废线)以上(即Ⅲ区)的缺陷，评为Ⅲ级。

6.10.3 凡在定量线以下(即Ⅰ区)的缺陷，评为Ⅰ级。

6.10.4 在定量线(含定量线)以上、判废线以下(即Ⅱ区)缺陷的评定：

- a) 缺陷的定量
 - 1) 对缺陷定量时，应将灵敏度调到定量线灵敏度。
 - 2) 线性扫查时，测量缺陷长度采用绝对灵敏度测长。锯齿形扫查时，测量缺陷长度采用端点 6dB 法测长。
- b) 点状缺陷、密集型点状缺陷及线状缺陷的评定
 - 1) 缺陷长度小于 10 mm 时，锯齿形扫查按 5 mm 计，线性扫查按实测计。
 - 2) 缺陷的质量分级按表 9 的规定进行。
- c) 条状缺陷的评定
 - 1) 条状缺陷的质量分级按表 10 的规定进行。

表9 焊接接头超声检测质量分级

单位为 mm

等级	工件厚度 t	反射波幅 所在区域	允许的单个缺陷指示长度 L	多个缺陷累计长度 L' 最大允许值/ L'
I	$\geq 6 \sim 100$	I	≤ 50	-
	> 100		≤ 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 L' 不超过 t 。
	> 100		$\leq t/3$ ，，最大不超过 50	
II	$\geq 6 \sim 100$	I	≤ 60	-
	> 100		≤ 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 L' 不超过 t 。
	> 100		$\leq 2t/3$ ，最大不超过 75	
III	≥ 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	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累计长度允许值。			

表10 焊接接头条状显示的质量分级

单位为 mm

质量等级	工件厚度	单个缺陷						多个缺陷
		表面开口缺陷			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	$6 \leq t \leq 8$	6	2	1.5	6	2	1.5	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 150 mm ; 2.对于单个或多个表面开口缺陷,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 400 mm 。
	$8 < t \leq 15$	7	2	1.5	7	3	1.5	
	$15 < t \leq 40$	15	2.5	1.5	15	4	1.5	
	$40 < t \leq 60$	25	3	2	25	5	2	
	$60 < t \leq 100$	35	3.5	2.5	35	5.5	2.5	
II	$6 \leq t \leq 8$	t	2	1.5	t	2	1.5	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 200 mm ; 2.对于单个或多个表面开口缺陷,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 500 mm 。
	$8 < t \leq 15$	t	2	1.5	t	3	1.5	
	$15 < t \leq 40$	t	2.5	1.5	t	4	2.0	
	$40 < t \leq 60$	40	3	2	40	5	2.5	
	$60 < t \leq 100$	50	3.5	2.5	50	5.5	3.0	
	$t > 100$	60	4	3	60	6	3.5	
III	6~200	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超声相控阵检测和质量分级

7.1 适用范围

7.1.1 本章规定了钢制承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头的超声相控阵检测方法及其质量分级。

7.1.2 本章适用于壁厚大于或等于 3.5 mm, 外径为 32 mm~159 mm 或壁厚为 3.5 mm~8 mm(不含 8 mm), 外径大于或等于 159 mm 的承压设备管子和压力管道环向对接接头的超声相控阵检测。

7.2 参考试块

7.2.1 参考试块制作符合 4.2.3 的规定。

7.2.2 参考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%。采用的参考试块型号为 GD-1、GD-2、GD-3、GD-4, 其形状和尺寸应分别符合图 18 和表 11 的规定。GD-1 试块适用于曲率半径大于 16 mm 至 24 mm 的承压设备管子和压力管道环向对接接头的检测; GD-2 试块适用于曲率半径大于 24 mm 至 35 mm 的承压设备管子和压力管道环向对接接头检测; GD-3 试块适用于曲率半径大于 35 mm 至 54 mm 的承压设备管子和压力管道环向对接接头检测; GD-4 试块适用于曲率半径大于 54 mm 至 80 mm 的承压设备管子和压力管道环向对接接头检测。

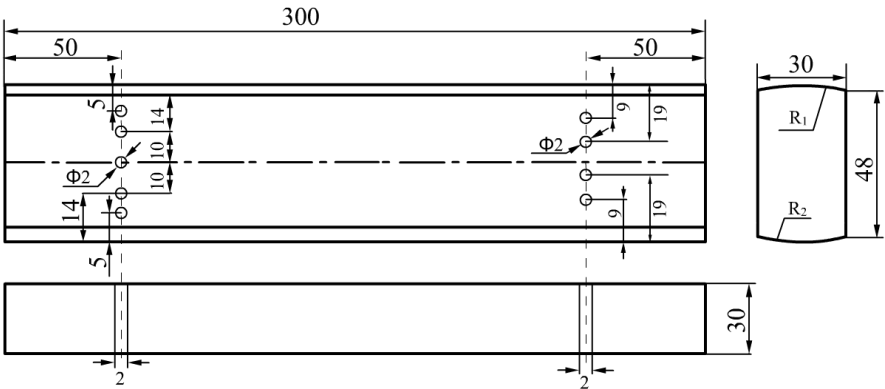


图18 GD 试块形状和尺寸

表11 试块圆弧曲率半径

试块 型号	试块圆弧曲率半径		试块型号	试块圆弧曲率半径	
	R_1	R_2		R_1	R_2
GD-1	18	22	GD-3	40	50
GD-2	26	32	GD-4	60	72

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 相控阵探头选择

- 7.4.1.1 相控阵探头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依据表 12 进行选择。

表12 检测焊接接头时相控阵探头参数选择表

管壁厚度, mm	主动孔径, mm	标称频率, MHz
3.5~15	6.0~10	7.5~10
>15	7.0~15	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。
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。
3.被动孔径(W)应大于等于 6 mm。

- 7.4.1.3 相控阵探头楔块的曲率应与被检管件的形状相吻合，如图 19 所示。当楔块边缘与被检工件接触面的间隙 x 大于 0.5mm，应采用曲面楔块。

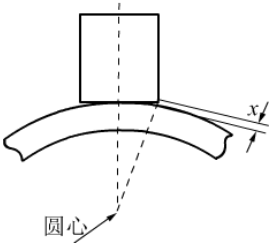


图19 探头楔块边缘与管子外表面间隙的示意图

7.4.2 扫描类型

7.4.2.1 管壁厚度为 3.5 mm~8 mm(不含 8 mm)的对接接头

- a) 线性扫查时, 采用二次反射波、一次反射波或三次反射波的扇形扫描或电子扫描进行检测。
- b) 锯齿形扫查时, 应采用扇形扫描进行检测。

7.4.2.2 管壁厚度大于等于 8 mm 的对接接头应采用扇形扫描进行检测。

7.4.3 选择延时法则

延时法则的选择符合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 距离-波幅曲线的制作

在GD系列参考试块上制作距离-波幅曲线。

7.4.6 角度增益补偿

角度增益补偿符合6.5.5的规定。

7.4.7 距离-波幅曲线的灵敏度选择

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 13 的规定。

表13 距离-波幅曲线的灵敏度

管壁厚度, mm	评定线	定量线	判废线
3.5~8	Φ2×30-16dB	Φ2×30-10dB	Φ2×30-4dB
≥8	Φ2×30-14dB	Φ2×30-8dB	Φ2×30-2dB

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。

7.4.8 相控阵探头配置

相控阵探头配置符合6.5.7的规定。

7.4.9 扫查覆盖

扫查覆盖符合6.5.8的规定。

7.4.10 扫查增量的设置

扫查增量的设置应符合6.5.9的规定。

7.4.11 编码器的校准

编码器的校准应符合6.5.10的规定。

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6.5.12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

扫查图像显示符合6.8条的规定。

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符合6.9的规定，但确认为相关显示的检测数据，应按7.8进行评定。

7.8 承压设备管子和压力管道环向对接接头的质量评定

7.8.1 凡判定为裂纹、坡口未熔合的显示，评为Ⅲ级。

7.8.2 凡在判废线(含判废线)以上(即Ⅲ区)的缺陷，评为Ⅲ级。

7.8.3 凡在定量线以下(即Ⅰ区)的缺陷，评为Ⅰ级。

7.8.4 在定量线(含定量线)以上、判废线以下(即Ⅱ区)的缺陷的评定。

a) 缺陷的定量

1) 对缺陷定量时，应将灵敏度调到定量线灵敏度。

2) 线性扫查时，测量缺陷长度采用绝对灵敏度测长。锯齿形扫查时，测量缺陷长度采用端点6dB法测长。

3) 缺陷长度应按式(3)计算：

$$l=L\times(R-H)/R\ldots\ldots\ldots(3)$$

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。

b) 点状缺陷、密集型点状缺陷及线状缺陷的评定

1) 缺陷的质量分级按表14的规定进行。

c) 条状缺陷的评定

1) 管壁厚度为3.5 mm~6 mm(不含6 mm)的环向对接接头：

Ⅰ) 单个条状缺陷，其自身高度大于1.5 mm，评为Ⅲ级；

Ⅱ) 除Ⅰ)款外，条状缺陷的评定按7.8.4.2的规定执行。

2) 管壁厚度大于或等于6 mm的环向对接接头，条状缺陷的评定按表9中有关规定执行。

表14 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
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 10 mm 焊缝长度范围内, 同时存在条状缺陷和未焊透时, 评为 III 级。 2. 板厚不同时, 取薄板侧厚度。		

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:

- a) 委托单位或指令;
- b) 检测标准;
- c) 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;
- d) 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;
- e) 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;
- f) 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;
- g) 检测示意图: 检测部位以及所发现的缺陷位置和分布图;
- h) 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;
- i) 检测结论: 评定出缺陷位置、尺寸及质量级别;
- j) 检测人员和审核人员签字;
- k) 检测日期。

8.1.2 检测报告格式可参照附录 E(资料性附录)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
(规范性附录)
横波端点衍射法测量缺陷自身高度

A.1 范围

A.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超声相控阵检测方法。

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

A.2 检测人员

按本附录进行检测的人员,应接受有关超声相控阵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,能对检测中可能出现的问题能作出正确的分析、断裂和处理。

A.3 一般要求

A.3.1 采用单探头接触式超声相控阵横波端点衍射法测量缺陷自身高度。

A.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。

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

A.3.4 选择缺陷幅度最高位置进行测量缺陷自身高度。

A.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%。

A.3.6 超声相控阵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。

A.4 端点衍射法测高的方法

A.4.1 首先根据超声相控阵检测时发现的缺陷,确定是否对其进行测高。

A.4.2 确定最佳检测参数后,将超声相控阵声束的焦点设定在所发现缺陷的部位。

A.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,也就是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%。

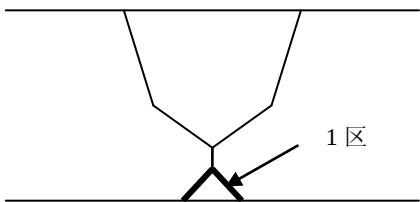
A.4.4 识别端点衍射波信号,找到缺陷最大反射波位置后,固定探头位置,将该波高调整到满屏高度的80%。提高灵敏度12dB~25dB,移动探头沿缺陷伸展方向扫查,当声束轴线完全离开缺陷端点的第一个峰值回波信号,即是端点衍射波。

A.4.5 测量缺陷自身高度,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;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,将两个值相减,就是缺陷自身高度。

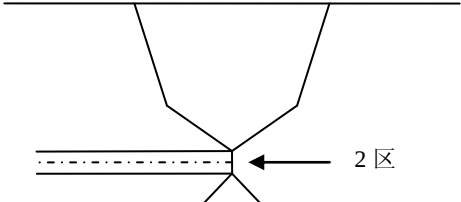
A.4.6 读取缺陷端点衍射回波峰值信号幅度应大于等于荧光屏满刻度的10%。

- A. 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。
- A. 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。

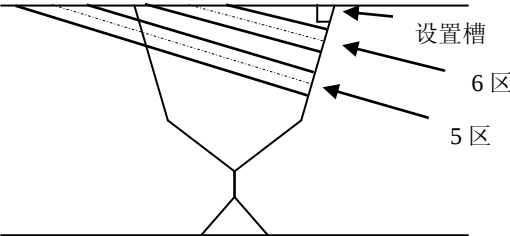
附 录 B
(资料性附录)
全自动超声相控阵检测参考试块人工反射体的布置



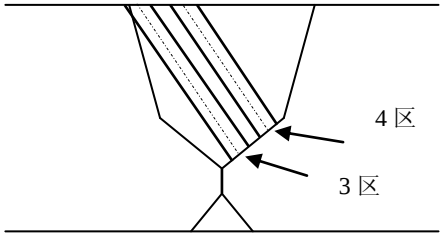
(a) 根焊区设置 $\Phi 2\text{ mm}$ 的平底孔或槽



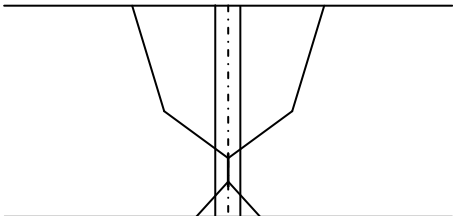
(b) 钝边处设置 $\Phi 2\text{ mm}$ 的平底孔



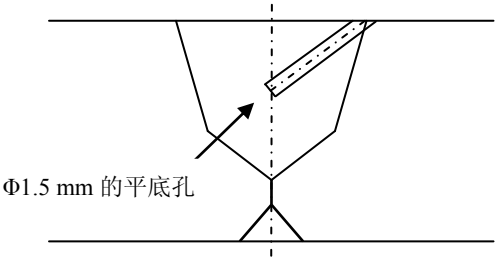
(c) 填充区设置 $\Phi 2\text{ mm}$ 的平底孔



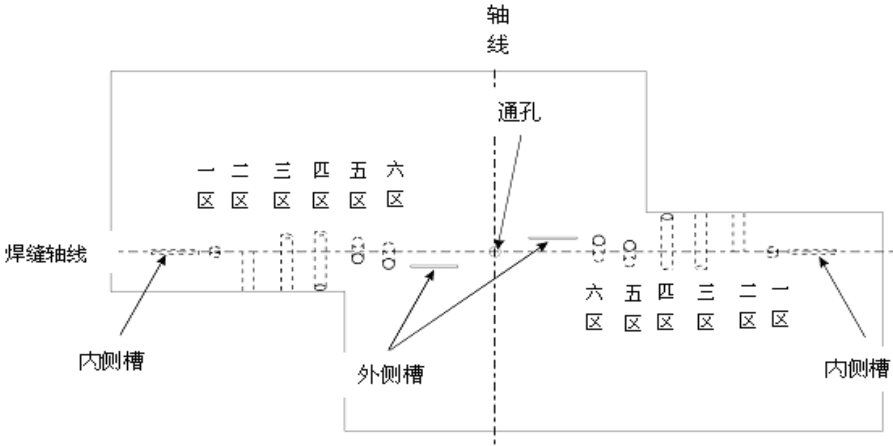
(d) 热焊区设置 $\Phi 2\text{ mm}$ 的平底孔



(e) 设置 $\Phi 2\text{ mm}$ 的通孔



(f) 在焊缝中心线上设置 45° 附加反射体



(g) 参考试块上人工反射体分布图

图A.1 油气管道环向对接接头参考试块示意图

附 录 C
(规范性附录)
全自动超声相控阵检测声速测量方法

C.1 总则

C.1.1 本附录规定了钢中横波声速的测定方法。
C.1.2 本附录规定的声速测量方法适用于自动超声波检测系统；其它超声波检测设备的声速测量方法按常规方法执行，本附录不再叙述。

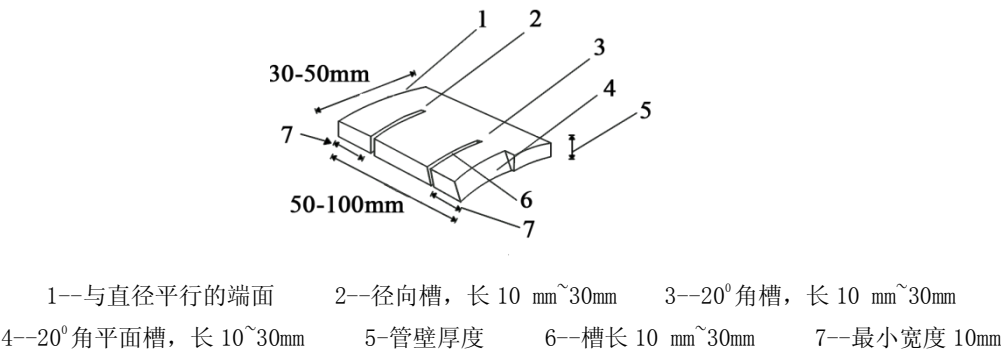
C.2 设备

测量横波声速宜选用以下的设备：

- a) 螺旋测微器或游标卡尺
- b) 横波直探头(频率为5MHz，直径为6mm~10mm)
- c) 耦合液体(蜂蜜等非牛顿粘性液体)
- d) 数字或模拟示波器和超声脉冲发射/接收系统，也可选用自动超声波检测仪系统。系统的接收放大器不低于-6dB，频带宽度为1 MHz~10MHz，显示分辨率不低于10ns。

C.3 声速试块制作

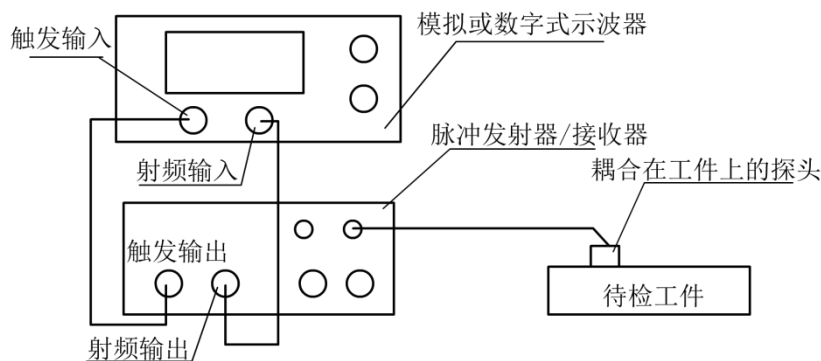
C.3.1 声速试块的材料应在被检测的钢管上截取，测得的结果只能用于检测材质、管径、壁厚和制造厂家等内容都与声速试块相同的管。
C.3.2 管线钢是各向异性的，因此加工的试样应能满足多个方向上声速的测量需要。至少应加工两对平行的平面作为测量面：一对是径向平面(垂直被检管的外表面)，另一对与外表面的垂直方向成20°角。如果需要更多的数据点，可以加工具有其它角度的更多对平行平面。试样的最小截取尺寸为50mm×50mm，加工尺寸见图C.1。
C.3.3 加工出来的表面的粗糙度应达到20μm以上。试样的测试面最小宽度应达到20mm，两个平行平面之间的距离不小于10mm。测试面在垂直方向上的尺度受管壁厚度的限制。



图B.1 声速试块

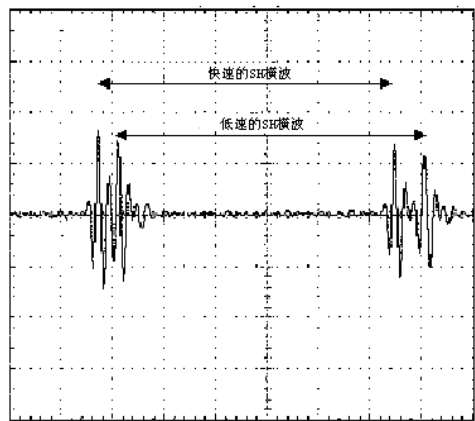
C.4 检测程序

- C.4.1 用螺旋测微器或卡尺测定钢试件上经过加工的平行平面之间的距离。每个测量面最少要测量三遍，取平均值。
- C.4.2 按图C.2所示连接好脉冲发射/接收仪、横波直探头和示波器，用蜂蜜或其它非牛顿粘性耦合剂将探头耦合到参考试块上。在探头上施加足够的压力得到清楚的底波和二次底波。在检测面上转动探头，观察一次和二次底波中有两个位置靠近信号，这是由于双折射引起的。双折射的发生取决于材料各向异性的性质。声速随着切变波的极化方向和材料的微观结构而改变。调节示波器读取两个底波信号中较快信号之间的时间间隔，并且读取前两个多次前壁信号中较快信号之间的时间间隔。双折射信号示例见图C.3。



图B.2 设备结构示例

- C.4.3 记录测得的时间间隔。
- C.4.4 除了在两对加工的平面上进行测量(轴向声速合成一个角度的声速)之外，还要从外表面测量得到第三个读数，得到径向声速。应用螺旋测微器或卡尺在探头与试样表面接触点处测定试样的厚度。图C.4中列出了测定径向速度和为检测焊接接头测定声速时的布置。如果要检验直缝管上的纵向焊接接头，必须在周向平面上进行测量，并且应当用周向声速取代轴向声速，斜向声速在圆周平面内与垂直方向成20°角。



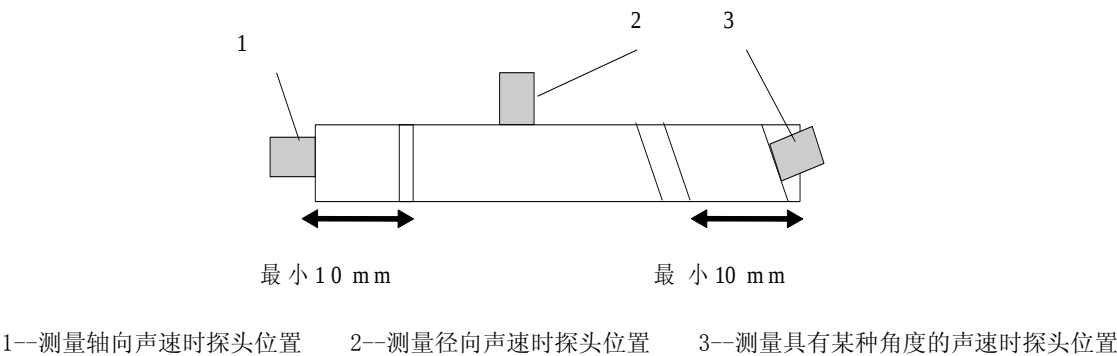
被显示出来的底波和第一次多次反射波即二次底波
(始脉冲被延迟到显示屏之外)

图B.3 在双折射材料中测定时间间隔示例

- C.4.5 声速应按式(C.1)进行计算：

$V=2d/t$ (C. 1)

式中：
 V —声速，m/s；
 d —试样的厚度(测量所得)，m；
 t —时间间隔(用脉冲回波法测量所得)，s。



图B. 4 不同方向的声速测量布置

C. 5 允许误差

为了保证声速的测量误差不大于±20m/s，声速试块厚度测量必须精确到±0.1mm，时间测量必须精确到25ns。

C. 6 记录和绘制曲线

将声速的数值绘成二维极坐标曲线，用曲线可以估测直接测定方向以外方向的声速。在极端的测试条件下，温度会对声速有明显的影响，因此，测量读数时的温度也必须记录下来。