



江苏省地方标准

DB32/T 4485—2023

大直径厚壁管座角接焊接接头相控阵 超声检测技术规程

Technical regulation of phased-array ultrasonic testing for
socket welded joints of pipe with large-diameter and thick-wall

2023-05-13 发布

2023-06-13 实施

江苏省市场监督管理局 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言Ⅲ

1 范围1

2 规范性引用文件1

3 术语和定义1

4 总体原则和要求4

5 检测准备9

6 检测实施.....15

7 检测数据分析和缺陷评定.....16

8 检测记录与报告.....18

附录A(规范性) A型相控阵试块和B型相控阵试块(声束控制评定试块)20

附录B(资料性) 厚壁管座角接焊接接头检测工艺设置21

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏省市场监督管理局提出并归口。

本文件起草单位：江苏省特种设备安全监督检验研究院、南京航空航天大学、江苏省中宇检测有限公司、二重（镇江）重型装备有限责任公司、南京华中检测有限公司、北京福马智恒检测技术有限公司、武汉中科创新技术股份有限公司、南京华建检测技术有限公司、图迈检测技术（成都）有限公司。

本文件主要起草人：梁国安、郑凯、董文利、朱永凯、王海涛、肖雄、马彦利、王晋、马向东、孙培江、王新农、许倩、余薇、丁坚、任毅、付志平、朱正康、李陈、俞燕萍、郭磊、林光辉、王子成、胡斌定、张盼、黄德海、王坤喜、姚叶子、范正。

大直径厚壁管座角接焊接接头相控阵超声检测技术规程

1 范围

本文件确立了钢制(碳钢和低合金钢)承压设备大直径厚壁管座角接焊接接头相控阵超声检测工艺,规定了有关检测工艺的总则原则和要求、检测准备、检测实施、检测数据分析和缺陷评定、检测记录与报告。

本文件适用于相控阵超声检测的管座角接焊接接头范围为筒体直径 $\Phi 1\ 380\text{ mm}$ 以上、壁厚 $40\text{ mm}\sim 200\text{ mm}$,接管直径 $\Phi 325\text{ mm}\sim 560\text{ mm}$ 、壁厚 $30\text{ mm}\sim 120\text{ mm}$ 的插入式管座角接焊接接头,以及接管直径 $\Phi 219\text{ mm}\sim 800\text{ mm}$ 、壁厚 $30\text{ mm}\sim 150\text{ mm}$ 安放式管座角接焊接接头。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定
- GB/T 12604.1 无损检测 术语 超声检测
- GB/T 29302 无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验
- JB/T 8428 无损检测 超声试块通用规范
- JB/T 9214 无损检测 A 型脉冲反射式超声检测系统工作性能测试方法
- JB/T 11731 无损检测 超声相控阵探头通用技术条件
- 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 47013.15 承压设备无损检测 第 15 部分:相控阵超声检测

3 术语和定义

GB/T 12604.1 和 NB/T 47013.15 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

坐标定义 **coordinates definition**

图 1 所示为大直径厚壁管座角接焊接接头的两种结构形式,规定检测起始参考点为 O 点,定义沿焊缝长度方向的坐标为 X 轴;沿焊缝宽度方向的坐标为 Y 轴;沿焊缝厚度方向的坐标为 Z 轴。

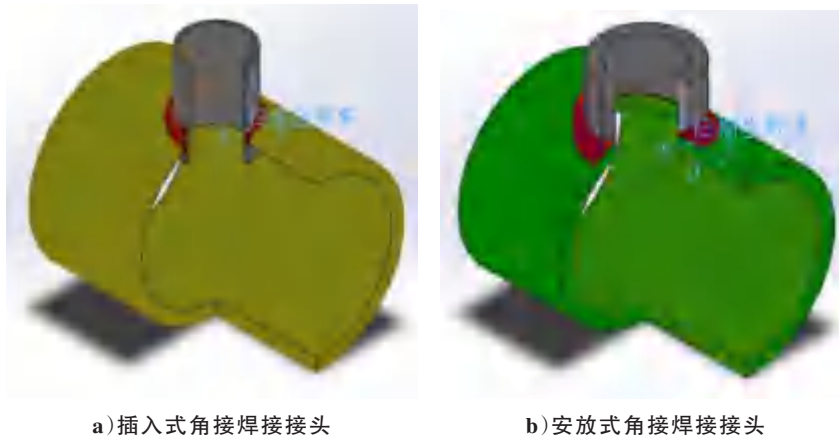


图1 坐标定义

3.2

扫查面 scanning surface

放置探头的工件表面,超声声束从该面进入工件内部。

3.3

相关显示 relevant indication

由缺陷引起的显示。

注:相关显示分为条状缺陷和点状缺陷。

3.4

非相关显示 non-relevant indication

由于工件结构(例如焊缝余高或根部)、材料冶金结构的偏差(例如金属母材和覆盖层界面)或者异质界面引起的显示。

注: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

聚焦法则 focal law

通过控制激发晶片数量,以及施加到每个晶片上的发射和接收延时,实现波束的偏转和聚焦的算法或相应程序。

3.6

角度增益修正 angle corrected gain;ACG

使扇扫描角度范围内不同角度的声束检测同声程和尺寸的反射体,使其回波幅度量化的增益修正方式。

注:也称角度修正增益。

3.7

时间增益修正 time corrected gain;TCG

相同角度的声束检测不同声程处相同尺寸的反射体,使其回波幅度量化的增益修正方式。

注:也称时间修正增益。

3.8

扇扫描 sector scanning

对相控阵探头中的同一阵元组采用特定的聚焦法则,逐次激发部分相邻或全部晶片,以实现声束在一定角度范围内的偏转移动的过程。

注:又称变角度扫描或S扫描。

3.9

线扫描 linear scanning

对同一阵列探头不同的阵元组逐次采用相同的聚焦法则,以实现声束沿相控阵探头长度方向移动的过程,有类似 A 型脉冲反射法超声检测探头扫查移动的效果。

3.10

步进扫查 step scan

探头与工件之间的相对移动,通过检测人员手工操作或采用机械扫查。

注:其中,机械扫查指采用机械装置移动探头的方式。对于焊接接头,根据探头移动方向与焊缝长度方向之间的关系,又可再细分为纵向扫查、横向扫查、栅格扫查等方式。

3.11

激发孔径 active aperture

相控阵探头沿排列方向一次激发阵元组晶片数的有效长度。

注:激发孔径长度按照公式(1)计算,如图 2 所示。

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

式中:

- A——激发孔径;
- n——晶片数量;
- e——晶片宽度;
- g——晶片间隔;
- p——相邻晶片间中心间距。

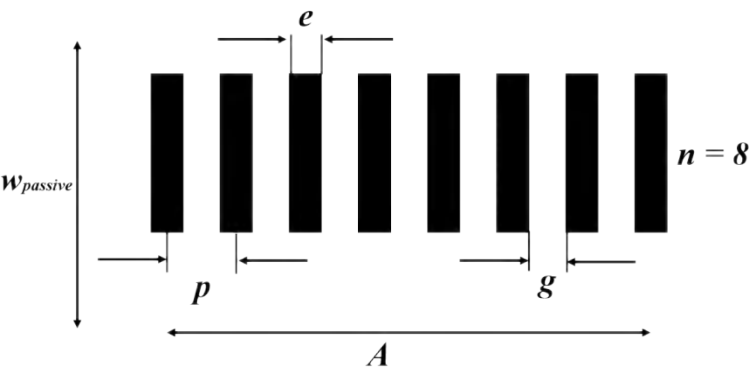


图2 一维线阵探头激发孔径

3.12

时基扫查 time base sweep

位置传感器按时间(时钟)调节的扫查,且数据采集基于扫查时间(秒)。

注:时基模式的数据采集时间 t 等于采集总数 N 除以采样率 a,即 t=N/a(式中 a 为每秒 A 扫描显示数)。

3.13

角度分辨力 angular resolution

能够将位于同深度的相邻两缺陷分辨开的相邻两 A 扫描之间的最小角度值。

3.14

成像横向分辨力 lateral imaging resolution

成像系统在与声束轴线垂直方向的分辨力。

3.15

成像纵向分辨力 axial imaging resolution

成像系统在声束轴线方向的分辨力。

3.16

管座角接焊接接头 fillet welding joint

接管与筒体(或封头)角接接头型式分为插入式、安放式等,具体如图 3 所示。其中,图 3a)为插入式结构示意图,图 3b)为安放式结构示意图。

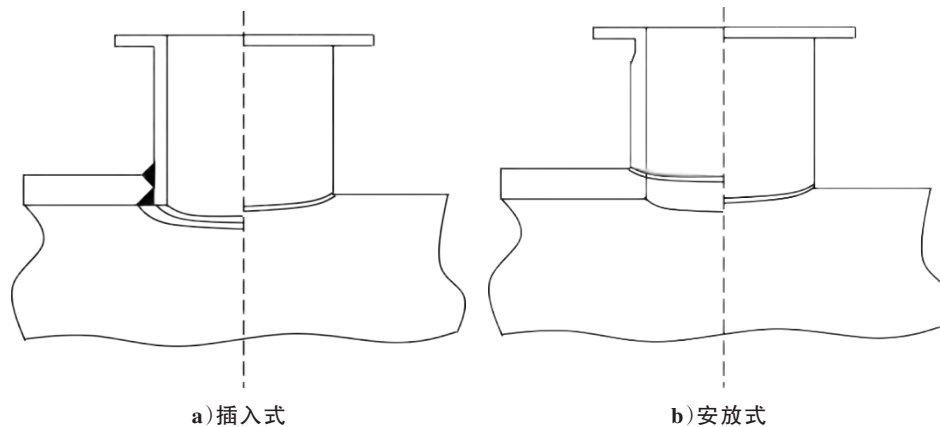


图 3 接管与筒体(或封头)角接接头型式示意图

4 总体原则和要求

4.1 检测人员

4.1.1 相控阵超声检测人员应符合 NB/T 47013.1 的有关规定。

4.1.2 从事相控阵超声检测的人员应通过相控阵超声检测技术培训,取得相应资格证书。

4.2 检测设备和器材

4.2.1 通则

相控阵超声检测设备主要包括相控阵超声检测仪器、检测软件、扫查装置、探头,上述各项应成套或单独具有产品质量合格证或制造厂出具的合格文件。

4.2.2 相控阵超声仪器

相控阵超声仪器应符合以下要求:

- a) 相控阵仪器放大器的增益调节步进不应大于 1 dB;
- b) 应配备与其硬件相匹配的延时控制和成像软件;
- c) -3 dB 带宽下限不高于 1 MHz,上限不低于 15 MHz;
- d) 采样频率不应小于探头中心频率的 6 倍;
- e) 幅度模数转换位数应不小于 8 位;
- f) 仪器的水平线性误差不大于 1%,垂直线性误差不大于 5%;
- g) 所有激励通道的发射脉冲电压具有一致性,最大偏移量应不大于设置值的 5%;
- h) 各通道的发射脉冲延迟精度不大于 5ns。

4.2.3 软件

相控阵超声检测软件应符合以下要求：

- a) 仪器所带软件至少应有 A、B、C、D、S 型显示的功能,且具有在扫描图像上对缺陷定位、测量及分析功能；
- b) 能够存储、调出 A、B、C、D、S 图像,并能将存储的检测数据拷贝到外部存储空间中；
- c) 仪器软件应具有聚焦法则计算功能、TCG 增益校准功能和 ACG 校准功能；
- d) 仪器的数据采集应与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 0.5 mm；
- e) 仪器应能存储和分辨各 A 扫描信号之间相对位置的信息,如位置传感器位置；
- f) 离线分析软件应能对检测时设置的关键参数进行查看；
- g) 仪器应具备对象建模功能,至少实现工件轮廓线的结构仿真及相应检测数据分析。

4.2.4 相控阵探头

相控阵探头应符合以下要求：

- a) 探头应符合 JB/T 11731 的要求。探头可加装用以辅助声束偏转的楔块或延迟块,楔块形状应与被检工件曲率相匹配；
- b) 针对厚壁管座角焊接接头,宜采用低频,大激发孔径的探头,单次激发的阵元数不应少于 16 个,激发孔径一般在 8 mm~32 mm,孔径随管厚的增大而增大；
- c) 采用横波斜声束探头的脉冲回波技术时,使横波探头垂直于被检测工件表面发射和接收超声信号；
- d) 探头实测中心频率与标称频率间的误差应不大于 10%；
- e) 探头的一 6 dB 相对频带宽度不小于 55%；
- f) 同一探头晶片间灵敏度差值应不大于 4 dB,晶片灵敏度的均匀性应满足均方差不大于 1 dB；
- g) 使用中的相控阵探头如出现损坏晶片,可在选择激发孔径范围时设法避开坏晶片；如无法避开,则要求在扫查使用的每个声束组中,损坏晶片不应超过总使用晶片数的 12.5%,且没有连续损坏晶片；如果晶片的损坏超过上述规定,可通过仿真软件计算且通过试块测试,确认坏晶片对声场和检测灵敏度、信噪比无明显不利影响,才允许使用。

4.2.5 试块

4.2.5.1 试块分类

试块分为标准试块、对比试块及模拟试块。

4.2.5.2 标准试块

4.2.5.2.1 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。本文件采用的标准试块为 CSK — IA、DB PZ20—2、A 型相控阵试块和 B 型相控阵试块。

4.2.5.2.2 CSK—IA 试块的具体形状和尺寸符合 NB/T 47013.3 的要求,DB PZ20—2 试块的具体形状和尺寸符合 JB/T 9214 的要求,A 型相控阵试块和 B 型相控阵试块(声束控制评定试块)符合附录 A 的要求。

4.2.5.2.3 标准试块的制造和尺寸精度应满足 JB/T 8428 的要求。该试块与国家标准样品或类似具备量值传递基准的试块进行检测比对时,其最大反射波幅差应小于或等于 2 dB。

4.2.5.3 对比试块

4.2.5.3.1 本文件采用的对比试块有 NB/T 47013.3 中规定的 CSK—IIA 系列试块和 RB—C 试块。其适用范围和使用原则均按 NB/T 47013.3 的规定执行。当安放式接管角焊缝曲率半径小于 250mm 时,应采用 RB—C 试块。采用 RB—C 试块时,工件检测面曲率半径应为对比试块的曲率半径的 0.9 倍~1.5 倍。

4.2.5.3.2 在满足灵敏度要求时,试块上的参考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或采用专用对比试块。

4.2.5.4 模拟试块

4.2.5.4.1 模拟试块与被检测工件在材质、形状、主要几何尺寸、坡口型式和焊接工艺等方面应相同或相近,主要用于检测工艺验证、扫查灵敏度的确定。按缺陷制作方式可分为人工焊接缺陷试块和机加工缺陷试块。

4.2.5.4.2 焊接缺陷试块:其缺陷类型主要包括裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷、圆形缺陷等典型焊接缺陷。

4.2.5.4.3 机加工缺陷试块:其缺陷类型主要包括横孔、V 形槽及其他线切割槽等人工反射体。

4.2.6 耦合剂

4.2.6.1 选用具有良好的透声性、易清洗、无毒无害,有适宜流动性的材料;对被检工件无腐蚀,对工件表面的性质、人体及环境无损害,符合健康环保要求,同时便于检测后清理的材料。典型的耦合剂包括水、化学糨糊、洗涤剂、机油和甘油,在零度以下建议使用乙醇水溶液、机油或类似的液体介质。

4.2.6.2 耦合剂应在工艺文件规定的温度范围内稳定可靠。

4.2.6.3 应选择黏度系数大的耦合剂,如润滑脂、甘油膏、浆糊、黏度较大的机油等。

4.2.7 扫查装置

扫查装置应符合以下要求:

- a) 探头夹持部分在扫查时应保证声束与焊缝长度方向垂直。
- b) 导向部分应能在扫查时使探头运动轨迹与拟扫查轨迹保持一致。
- c) 扫查装置可以采用电动或人工驱动。
- d) 扫查装置应具有确定探头位置的功能,可通过步进电机或位置传感器实现对位置的探测与控制。

4.2.8 仪器设备的校准、核查及检查要求

相控阵仪器的校准、核查及检查应符合以下要求。

- a) 性能指标应每年进行一次校准。仪器的水平线性和垂直线性应每隔 6 个月至少进行一次运行核查。
- b) 在探头首次开始使用时,应按照 JB/T 11731 的要求对探头进行一次全面的性能校准。
- c) 校准应在相应的试块上进行,扇扫角度分辨力在 A 型试块上进行,几何尺寸测量误差在 B 型试块上进行,具体调校方法符合 GB/T 29302 的要求。
- d) 位置传感器在检测前及结束时,均应进行校准。校准方法是使位置传感器移动一定距离,将检测设备显示的位移与实际位移相比较,要求误差应小于 1%,最大值不超过 10mm。

4.3 扫描类型及显示方式

4.3.1 扫描类型

4.3.1.1 概述

一般采用扇形扫描或线性扫查。可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,选择将两种扫查方式进行结合。

4.3.1.2 扇形扫描

也称 S 扫描或方位角扫描(S-scan)。扇形扫描可指声束移动或数据显示方式。作为数据显示方式时,它指的是经延迟和折射角校准后的特定一组阵元的所有 A 扫描的二维视图。作为声束移动方式时,它指的是同一组阵元在一定的角度范围内声束移动扫描所采用的聚焦法则。

4.3.1.3 线性扫查

单次线性扫查:探头放置于距焊缝边缘(或焊缝中心)一定距离位置上,无需移动探头位置即可实现检测区域的全覆盖,将探头沿平行于焊缝方向移动则完成单次线性扫查,如图 4 所示。

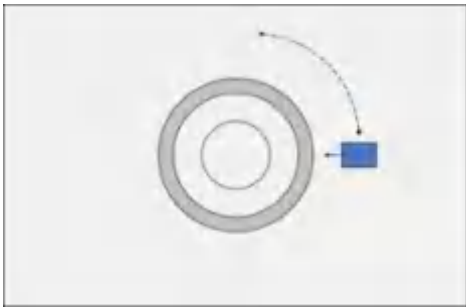


图 4 单次线性扫查

多次线性扫查:探头放置于距焊缝边缘(或焊缝中心)一定距离位置上,需更换或移动探头位置才能实现检测区域的全覆盖或多重覆盖,将探头沿平行于焊缝的方向移动则完成多次线性扫查,如图 5 所示。

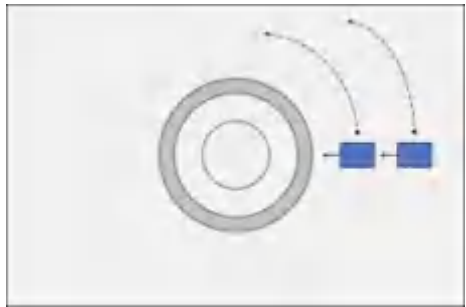


图 5 多次线性扫查

4.3.1.4 栅格扫查

探头在距焊缝边缘(或焊缝中心)一定距离的位置上,需要移动探头位置实现检测区域的全覆盖或多次覆盖,探头沿平行于焊缝的方向移动实现栅格扫查,如图 6 所示。

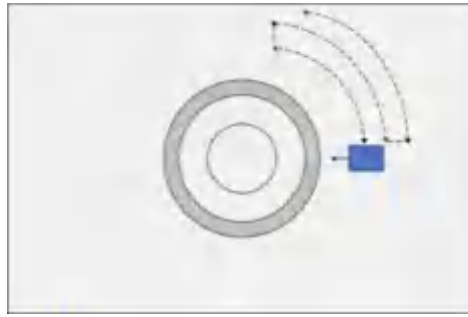


图6 栅格扫查

4.3.2 显示类型

相控阵超声的多种成像显示方法:A显示(波型显示)、B/D显示(横断面显示)、C显示(水平面显示)、S显示(扇形显示)等多种形式来显示结果,利用不同形式的扫描组合可获得整体检测图像,如图7所示。

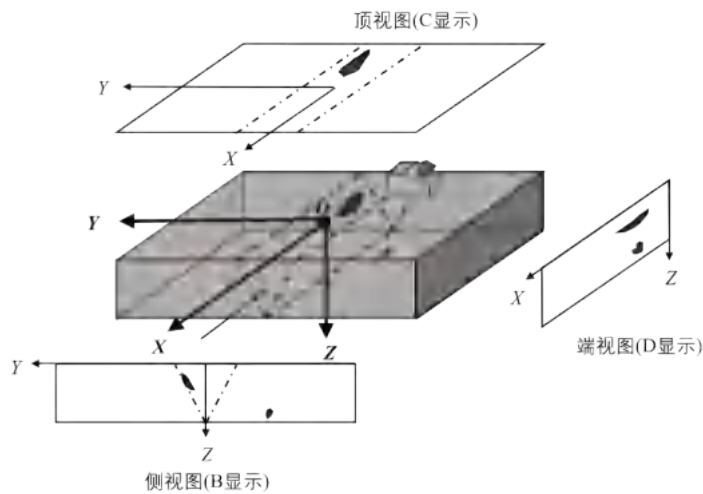


图7 成像视图

4.3.3 在扫查数据的图像中应有位置传感器扫查位置显示。

4.4 检测工艺文件

4.4.1 检测前,应根据被检工件情况编制相控阵检测工艺规程和操作指导书。

4.4.2 相控阵检测工艺规程至少应包括以下内容:

- 适用范围和对被检工件的要求;
- 遵循的标准规范;
- 被检工件情况(名称、材质、成型方法、坡口形状尺寸、焊接情况、热处理情况、母材检测情况等);
- 检测的目的、检测覆盖区域、检测时机;
- 对检测人员资格和能力的要求,检测人员培训和工艺验证试验要求;
- 对检测设备(仪器、探头、试块)的要求;
- 检测参数及要求:包括检测覆盖区域、检测时机、仪器、探头及楔块的参数设置或选择、扫查方法的选择、扫查面的确定、探头位置的确定、扫查面的准备等,以及检测系统的设置(激发孔径、扇扫角度和步进、线扫步进、聚焦、时间窗口、灵敏度等)和校准(灵敏度、位置传感器等)方法;
- 扫查示意图:图中应标明工件厚度、坡口参数、扫查面、探头位置、扫查移动方向和移动范围、扫

描波束角度和覆盖范围等；

- i) 检测温度、扫查速度、数据质量要求；
- j) 扫查和数据采集过程的一般要求；
- k) 对数据分析、缺陷评定与记录报告的一般要求。

4.4.3 操作指导书至少应包括以下内容：

- a) 被检工件情况；
- b) 检测设备器材；
- c) 检测准备：包括确定检测区域、扫查面的确定及准备、探头及楔块的选取、扫描方式及扫查方式的选择、探头位置的确定等；
- d) 检测系统的设置和校准；
- e) 扫查和数据采集要求；
- f) 数据分析、缺陷评定及出具报告的要求。

4.5 工艺验证试验

4.5.1 操作指导书在首次应用前应进行工艺验证，验证方式可在相关试块或软件上进行；验证内容为检测范围内灵敏度、信噪比等是否满足检测要求。

4.5.2 符合以下情况之一时应在模拟试块上进行工艺验证试验：

- a) 信噪比和声速与细晶粒钢差异明显的非细晶粒钢工件检测；
- b) 合同约定要求进行。

4.5.3 经合同双方同意，允许使用相控阵仿真软件计算部分或全部代替工艺验证试验内容。

5 检测准备

5.1 检测区域

5.1.1 检测区域由焊接接头检测区宽度和焊缝接头检测区厚度表征。

5.1.2 安放式接管焊缝检测高度为接管壁厚加焊缝余高；插入式接管焊缝检测高度为筒体壁厚加焊缝余高。

5.1.3 检测宽度为焊缝本身加上焊缝熔合线两侧各 5mm 或实测热影响区宽度(取大者)。

5.1.4 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。

5.2 灵敏度确定与设置

5.2.1 灵敏度的确定

5.2.1.1 采用通用对比试块进行灵敏度调节时，至少选用试块中与壁厚相适应的 3 组不同深度的平底孔(校准的深度或声程范围应至少包含检测拟覆盖的深度或声程范围，常见的有 $\Phi 2\text{mm}$ 和 $\Phi 4\text{mm}$)，以 TCG 方式进行灵敏度设置，再根据被检试件与试块实际情况进行耦合补偿、衰减补偿和曲面补偿，以此作为基准灵敏度。

5.2.1.2 采用专用对比试块时，至少选用试块中 3 组不同深度平底孔(校准的深度或声程范围应至少包含检测拟覆盖的深度或声程范围，常见的有 $\Phi 2\text{mm}$ 和 $\Phi 4\text{mm}$)，以 TCG 方式进行灵敏度设置，再根据被检试件与试块表面情况差异进行耦合补偿，以此作为基准灵敏度。

5.2.2 灵敏度的设置

- 5.2.2.1 选用 TCG (含 ACG)方式进行灵敏度设置。
- 5.2.2.2 推荐采用 TCG (含 ACG)进行灵敏度设置。
- 5.2.2.3 按所用的相控阵检测仪和相控阵探头在所选择的对比试块上进行灵敏度设置,校准的深度(或声程)范围应至少包括检测拟覆盖的深度(声程)范围,校准所使用的参考反射体一般不少于 3 个不同深度点。
- 5.2.2.4 检测面曲率半径
- $R \leq W/4$ 时, TCG 曲线的制作应在与检测面曲率相同的对比试块上进行。
- 5.2.2.5 在校准过程中,应控制噪声信号,信噪比应大于或等于 12dB。
- 5.2.2.6 TCG 曲线灵敏度应符合表 1 的规定。
- 5.2.2.7 工件表面耦合损失和材质衰减与试块保持相同或相近,否则需测定声能传输损失差,并根据实测结果对检测灵敏度进行补偿,补偿量应计入 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。

表 1 距离-波幅曲线的灵敏度

壁厚 mm	评定线	定量线	判废线
>30~40	$\Phi 2-18\text{dB}$	$\Phi 2-12\text{dB}$	$\Phi 2-4\text{dB}$
>40~100	$\Phi 2-14\text{dB}$	$\Phi 2-8\text{dB}$	$\Phi 2+2\text{dB}$
>100~200	$\Phi 2-10\text{dB}$	$\Phi 2-4\text{dB}$	$\Phi 2+6\text{dB}$

5.3 扫查面制备

- 5.3.1 探头移动区内应清除焊接飞溅、铁屑、油漆及其他杂质,一般应进行打磨。扫查面应平整,便于探头的移动和耦合,其表面粗糙度 Ra 值不宜大于 $12.5\mu\text{m}$,如使用设备在现场进行表面制备,可适当放宽要求。
- 5.3.2 插入式接管的母管与支管一般为大直径大厚度,扫查面一般在筒体上,固定链条及扫查装置并安装于支管。如图 8 所示。其打磨宽度应大于二次波检测时探头后端距焊缝的距离,一般不小于 150mm。

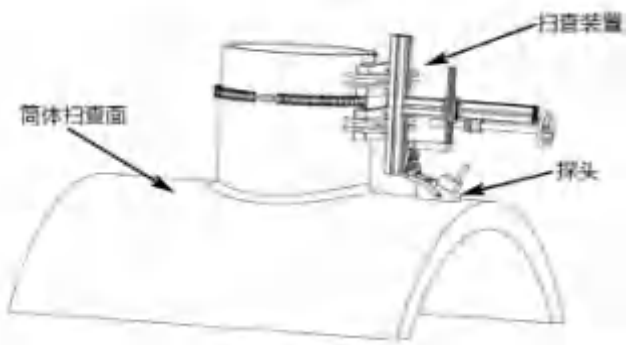


图 8 插入式管座角焊接接头检测效果图

安放式接管角焊缝扫查面一般为管座接管面,如图 9 所示,其打磨宽度应按工艺设置确定,满足检测要求,一般不小于 60 mm。

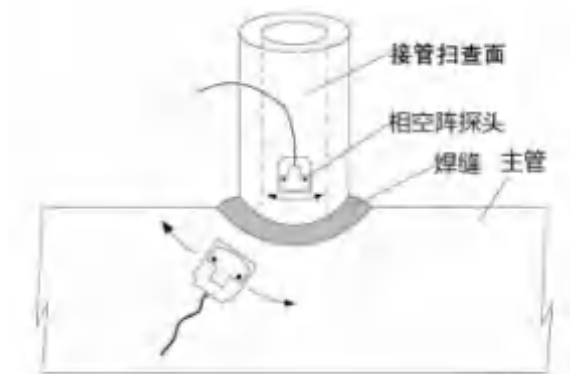


图9 管座角接焊接接头检测效果图

5.3.3 焊缝的表面质量应经外观检查合格后方可进行检测。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,如果需要进行二次波检测,还需标注一次波与二次波检测时的探头前端与焊缝的距离。

5.4 扫查方式选择

5.4.1 检测时推荐选用以下方式：

- a) 线性扫查＋扇形扫查；
- b) 栅格扫查＋扇形扫描。

5.4.2 声线追踪动态扫查视图辅助分析:显示超声声束在工件中的传播情况的动态横截面图(如图 10 所示),闸门的范围、缺陷指示在工件中的位置、楔块及焊缝图形。工件厚度显示在垂直轴上,步进轴为水平轴。使用声线追踪分析模式时,声线跟踪视图上能及时观察检测时声束变化与工件作用情况,并清晰呈现出整个声束传播检测过程。

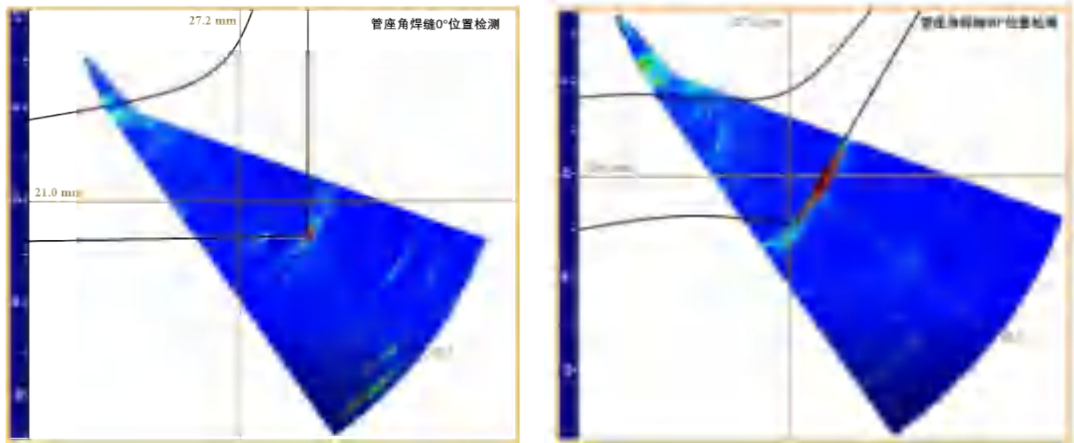


图10 声线追踪扫查

5.4.3 对可疑部位,允许采用扇形扫描,结合矩形、前后、左右等扫查方式进行检测。

5.5 探头参数选择

根据工件厚度选择相控阵检测探头的参数。具体的探头参数选择见表 2。

表 2 承压设备用相控阵超声检测探头参数选择表

工件厚度 mm	一次激发晶片数	激发孔径面积 mm ²	晶片间距 mm	标称频率 MHz
>30~60	≥16	60~160	0.3~0.8	3.5~7.5
>60~120	≥16	160~320	0.5~1.0	2~5
>120~200	≥32	≥320	0.5~1.0	1~3.5

5.6 楔块选择

5.6.1 楔块的选择主要包括选择其类型和形状规格等。对于纵波直入射法,一般选用平楔块或薄膜;对于斜入射法,一般选用带角度的楔块。对于曲面工件,当楔块与被检工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适当修磨,修磨后宜重新测量楔块的几何尺寸,同时考虑对声束的影响。

5.6.2 根据 GB/T 11345 的规定,通常检测情况下,楔块底面应被其与工件曲面的交线平分为对称的两部分。如图 13 所示,图中 w 为楔块沿检测方向的宽度, AC 为楔块沿检测方向长度的一半, AC 为 $w/2$; AE 为工件直径, AE 为 $2R$ 。此时的 BC 值为楔块与工件表面的最大间隙(x)。实际检测时,为了耦合良好,应使间隙(x)值尽量小,此时可认为 $AB=AC$,即可得:

$$x = \frac{(w/2)^2}{2R} = \frac{w^2}{8R} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

x ——探头楔块边缘与管子外表面间隙；

w ——楔块沿检测方向的宽度;

R ——工件半径(外径)。

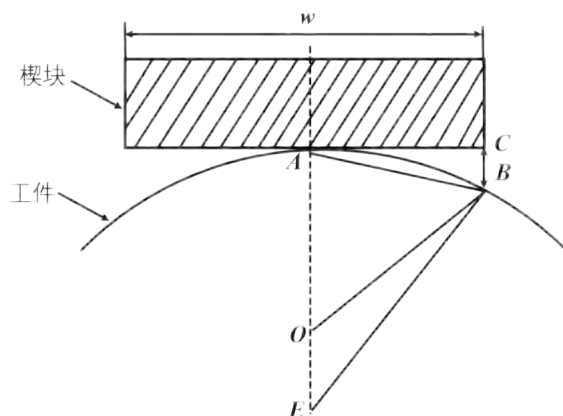


图 11 探头楔块边缘与管子外表面间隙的示意图

5.6.3 相控阵探头楔块的大小宜考虑被检管件的直径及曲率相吻合。当楔块边缘与被检工件接触面的间隙(x)小于 0.5mm 时,能达到该要求,也就是说当 $R > w^2/4$ 时,能满足耦合要求。

5.7 检测工艺流程与设置

5.7.1 声束覆盖方式:检测方法一般采用横波直入射检测焊缝的下半部分,二次波检测焊缝的上半部分。此外,马鞍状焊缝形式对缺陷的定位以及缺陷指示长度的测量有一定影响,要根据实际焊接接头结构及尺寸进行修正计算处理。声束角度范围的选定则应综合考虑选择的楔块及焊缝尺寸。应在厂家推荐值

的范围内,尽量选择大范围的声束。当一组声束设置成最大范围后,仍不能有效覆盖被检区域时,则应增加一组或多组声束。

5.7.2 检测区域要求:采用 B 级检测等级进行检测时,焊缝一般从单面双侧进行横向缺陷的检测,如受条件限制,也可以选择双面单侧或单面单侧进行检测。对于按 NB/T47013.3 的要求进行双面双侧检测的焊缝,当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,应补充斜探头作近表面缺陷检测。而大直径厚壁接管角焊缝的检测中也可以参考 NB/T 47013.3 的要求。当采用线扫描时,若采用 2 种或 2 种以上角度对同一区域进行检测时,则线扫角度分辨力不应小于 10°。如果因内部条件受限而无法检测,可以只从外部进行检测,但同时需要辅助一些其他检测方法以尽可能保证覆盖检测。B 级检测时不同母材厚度采用的检测方法见表 3。

表 3 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
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	

5.7.3 插入式管座角焊接接头检测采用二次波进行检测,具体检测要求按图 12 和表 4 的规定。

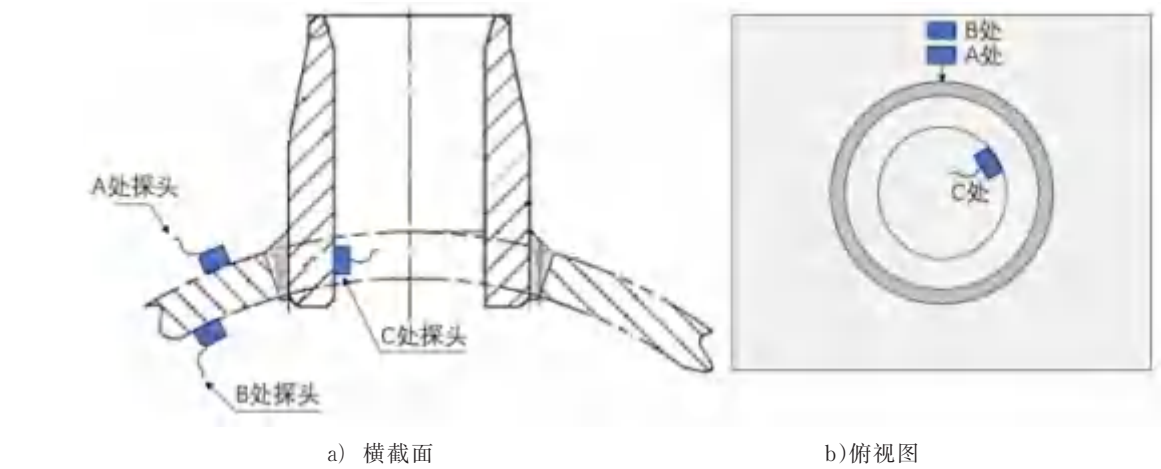


图 12 插入式管座角焊缝探头位置示意图(A、B、C-探头位置)

表 4 插入式管座角焊缝超声相控阵检测具体要求

检测技术等级	筒体厚度(t) mm	斜入射			直入射扇扫或线扫
		检测面(侧)	探头位置	扫描设置	探头位置
B	$40 < t \leq 100$	A 和 B	扇扫	一次波和二次波, 每面 ≥ 1 种探头位置	C
	一次波和二次波, 每面 ≥ 2 种探头位置				
	$100 < t \leq 200$			一次波, 每面 ≥ 3 种探头位置	
C	$40 < t \leq 100$	A 和 B	扇扫	一次波和二次波, 每面 ≥ 1 种探头位置	C
	一次波, 每面 ≥ 2 种探头位置; 或一次波和二次波, 每面 ≥ 2 种探头位置				
	$t > 100$			一次波, 每面 ≥ 3 种探头位置	
<p>注 1: 如需进行横向缺陷的检测, 则按 GB/T 47013.3 的要求执行。</p> <p>注 2: 如接管厚度与筒体或封头厚度相当, 允许接管上放置探头进行检测、以替代 A 或 B 其中的一个探头位置的检测。</p> <p>注 3: 如仍不能实现检测区域的全覆盖, 允许增加探头位置检测。</p> <p>注 4: 如接管内径大于或等于 200mm 或其他必要情况, 允许增加探头位置检测。</p>					

5.7.4 三种常见规格的大直径厚壁管座角焊接接头的检测工艺设置见附录 B。

5.7.5 安放式管座角焊接接头检测采用一次波和二次波进行检测, 一次波能检测到角焊缝根部, 二次波检测表面及中部。横波斜声束扇形扫描角度一般不应超出 $35^{\circ} \sim 75^{\circ}$, 特殊情况下, 确需使用超出该角度范围的声束检测时, 应验证其检测灵敏度。针对大直径厚壁管座角焊接接头, 为保证检测范围以及检测效率宜采用大角度声束, 但是要合理控制角度范围, 以免底面一次反射波进入楔块产生干扰, 应采用中心声束角度为 55° 或 60° 的楔块。具体检测位置见图 13。

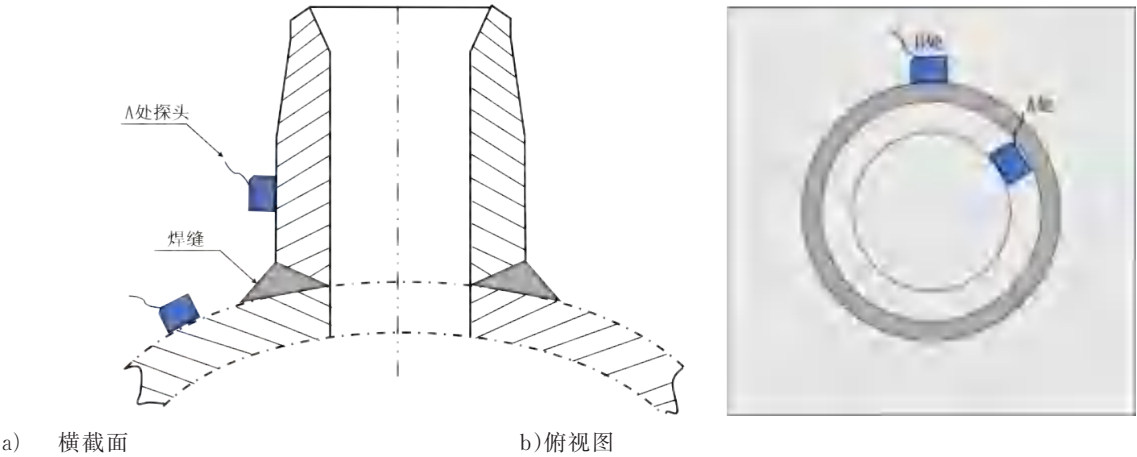


图 13 安放式管座角焊缝探头位置示意图(A、B、C-探头位置)

5.7.6 管壁厚度在 80mm 以下, 应选择标称频率为 4MHz~7.5MHz 的探头; 管壁厚度在 80mm~120mm 范围的, 应选择标称频率为 4MHz~5MHz 的探头; 管壁厚度在 120mm~200mm 范围的, 应选择标称频率为 2MHz~5MHz 的探头。

5.7.7 设置聚焦法则的具体要求时, 若因条件限制一次扫查无法确保检测区域全覆盖, 应采用不同的聚焦法则, 设置不同探头位置及角度扫查范围进行检测。

5.7.8 在检测开始前应将检测系统设置为根据扫查步进采集信号,当工件厚度 $t \leq 20\text{mm}$ 时,扫查步进最大值 $\Delta x_{\max} \leq 1.0\text{ mm}$;当 $20\text{mm} < t \leq 150\text{mm}$ 时,扫查步进最大值 $\Delta x_{\max} \leq 2.0\text{ mm}$ 。扇形扫描角度步进设置应 $\leq 1^\circ$ 。

6 检测实施

6.1 方向识别

检测前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,并保证所有标记对扫查无影响。

6.2 参考线设定

6.2.1 检测开始前,在工件扫查面上标定参考线,参考线距焊缝边缘(或焊缝中心)的距离根据检测聚焦法则设置确定,其距离误差为 $\pm 0.5\text{ mm}$ 。

6.2.2 参考线设定依照工艺参数设置将检测系统的硬件及软件置于检测状态,将探头摆放到设定的参考线位置,沿标识方向路径进行扫查。

6.2.3 扫查时应保证扫查速度小于或等于最大允许扫查速度 v_{\max} ,同时应保证耦合效果和数据采集的要求。最大允许扫查速度按公式(3)计算:

$$v_{\max} = \frac{\text{PRF}}{N \times A} \Delta x \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- v_{\max} ——最大允许扫查速度,单位为毫米每秒(mm/s);
- PRF——脉冲重复频率,单位为赫兹(Hz);
- Δx ——设置的扫查步进值,单位为毫米(mm);
- N ——设置的信号平均次数;
- A ——A 扫描的数量(如扇形扫描时,激发如 $35^\circ \sim 75^\circ$ 的扇形扫描,角度步进为 1° ,则 $A=41$)。

6.2.4 圆周扫查速度应按下公式(4)计算:

$$v_c = w_c \times \text{PRF} / 3 \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- V_c ——圆周扫查速度,单位为毫米每秒(mm/s);
- PRF——脉冲重复频率,单位为赫兹(Hz);
- W_c ——探头在检测有效距离处的最窄声束宽度(用半波高度法测量),单位为毫米(mm)。

6.3 扫查覆盖范围

6.3.1 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(绘制相贯线并根据不同角度建立焊缝模型)进行相贯角演示,调整探头前端距焊缝边缘(或焊缝中心)的距离,使所选用的检测声束将检测区域完全覆盖。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。

6.3.2 检测时,一般应在厚壁管座角接焊接接管侧扫查。若因条件限制一次扫查无法确保检测区域全覆盖,应采用不同的聚焦法则,设置不同探头位置及角度扫查范围进行检测。具体的检测要求见附录 B。

6.3.3 检测结束时,扫查停止位置应越过起始位置至少 30mm。线性扫查时,若在焊缝长度方向进行分段扫查,则各段扫查区重叠范围至少为 30mm。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%。

6.4 检测系统的复核

6.4.1 当出现下列情况之一时,需进行复核:

- a) 探头、耦合剂和仪器调节发生改变时;
- b) 怀疑扫查灵敏度或定位精度有变化时;
- c) 连续工作 4h 以上时;
- d) 工作结束时。

6.4.2 复核内容与要求

复核内容主要包括灵敏度、位置传感器和深度显示偏离情况。复核与初始设置时所使用的对比试块及其他技术条件均应相同,若复核时发现初始设置的参数偏离,按下列要求的规定执行:

- a) 若位移偏差 $\leq 5\%$,则不需要采取措施,若位移偏移 $> 5\%$,应对上次设置以后所检测的位置进行修正;
- b) 若灵敏度 $\leq 3\text{dB}$,则不需要采取措施,若灵敏度 $> 3\text{dB}$,应重新设置,并重新检测上次设置后所检测的部位;
- c) 若深度 $\leq 2\text{mm}$ 或板厚 3% (取较大值),则不需要采取措施,若深度 $> 2\text{mm}$ 或板厚的 3% (取较大值),应重新设置,并重新检测上次设置后所检测的部位。

7 检测数据分析和缺陷评定

7.1 检测数据的有效性评价

7.1.1 分析检测数据前,对已采集数据进行评估以确定其有效性,数据至少应满足以下要求:

- a) 采集的数据量满足所检测焊缝长度的要求;
- b) 数据丢失量不允许超过整个扫查长度的 5% ,且不允许相邻数据连续丢失;
- c) 扫查图像中耦合不良长度不允许超过整个扫查长度的 5% ,单个耦合不良长度不允许超过 2mm 。

7.1.2 若已采集数据不满足上述要求,应检查扫查装置工况,排除故障后重新进行扫查。

7.2 显示的分类

检测结果的显示分为相关显示和非相关显示。

7.3 缺陷定性

7.3.1 首先对相控阵扫查数据进行整体分析,结合 A 扫描、B 扫描、C 扫描、D 扫描、S 扫描显示判断扫查数据中缺陷的性质。

7.3.2 缺陷性质判定为裂纹、未熔合、未焊透缺陷评定为不允许。

7.3.3 根据缺陷轮廓确定缺陷的长度,长度与宽度之比大于 3 的相关显示按条状缺陷处理;长度与宽度之比不大于 3 的相关显示按点状缺陷处理。点状缺陷用点状缺陷评定区进行评定,点状缺陷评定区为一个与俯视图平行的矩形,其尺寸为 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$,点状缺陷评定区应选在缺陷最严重的区域。

7.3.4 性质判定为条状缺陷和点状缺陷的,应进行缺陷定量,评定为允许或不允许。

7.4 缺陷定量

7.4.1 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,应确定其深度、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。

7.4.2 缺陷最大反射波幅的测定方法是,在扫查数据中将测量光标移动至缺陷出现最大反射波信号的位置,测定波幅大小。

7.4.3 缺陷长度的测定方法如下。

- a) 当缺陷反射波只有一个高点,且位于定量线以上时,用-6 dB 法测量其指示长度。
- b) 缺陷反射波峰值起伏变化,有多个高点,且位于定量线以上时,应以端点-6 dB 法测量其指示长度。
- c) 当缺陷的最大反射波幅位于评定线以上定量线以下时,使波幅降到评定线,用以评定线绝对灵敏度法测量其指示长度。
- d) 对于裂纹、未熔合、未焊透缺陷,其最大反射波幅不超过评定线时,参照-6 dB 法或端点-6 dB 法测量其指示长度;对于其他类型缺陷,其最大反射波幅不超过评定线时,允许不进行评定;
- e) 相邻两缺陷在一直线上,其间距小于其中较小的缺陷长度时,应作为一条缺陷处理,以两缺陷长度之和作为其单个缺陷的指示长度(间距计入缺陷长度)。
- f) 缺陷实际指示长度 I 应按公式(5)计算(适用于管径小且壁厚大时):

$$I = L \times (R - H) / R \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- L ——测定的缺陷指示长度,单位为毫米(mm);
- R ——管子外半径,单位为毫米(mm);
- H ——缺陷距外表面(指示深度),单位为毫米(mm)。

- g) 当圆形缺陷评定区域内存在多个圆形缺陷时,采用分别测长相加的方法,计算缺陷总长度。
- 对所有允许和不允许存在的缺陷,均对其位置、深度和指示长度等进行测定。裂纹、未熔合、未焊透的测长方法参照上述条形缺陷的定量方法。

7.4.4 缺陷自身高度的评定结合 A 扫在 S 扫描或 D 扫描视图上进行缺陷自身高度测定。

- a) 选择图像上任一点采用-6dB 半波高度法或端点衍射法进行测定,也可采用当量法及其他有效方法进行测定。横波端点衍射法。
- b) 对于表面开口型缺陷,选择图像上任一点采用端点衍射法,或-6dB 半波高度法,或其他有效方法测定缺陷上端点或下端点的位置。
- c) 以任一点测定的最大值作为该缺陷的自身高度。
- d) 对满足检测要求的承压设备焊接接头,允许采用其他无损检测方法(如 TOFD 等)进行缺陷自身高度测量。

7.4.5 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、在 Y 轴方向间距小于 5mm,且在 Z 轴方向间距小于其中较小的缺陷自身高度时,允许作为一个缺陷处理,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) 缺陷波幅:以两缺陷的波幅大者作为单个缺陷波幅;
- c) 缺陷指示长度:两缺陷在 X 轴投影上的前、后端点间距离;
- d) 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)。

7.5 缺陷评定

7.5.1 根据缺陷性质以及缺陷的大小,缺陷评定为允许和不允许存在两类。也可按合同双方协定要求或参照其他相关验收标准规范进行质量评定。

7.5.2 缺陷的评定与质量分级见表 5。

表 5 承压设备焊接接头质量分级方法 单位为毫米

质量等级	工件厚度 t	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级	$30<t\leq 40$	15	2.5	1.5	15	2.5	1.5	对于单个或多个允许的 表面缺陷,其最大累计长度不应大于整条焊缝长度的 5%且最长不应超过 200mm
	$40<t\leq 60$	25	3	2.0	25	3.0	2.0	
	$60<t\leq 100$	35	3.5	2.0	35	4.0	2.5	
	$100<t\leq 200$	45	3.5	2.5	45	5.0	3.0	
	$t>200$	45	3.5	2.5	45	5.0	3.0	
Ⅱ级	$30<t\leq 40$	t	2.5	1.5	t	3.0	2.0	对于单个或多个允许的 表面缺陷,其最大累计长度不应大于整条焊缝长度的 10%且最长不应超过 300mm
	$40<t\leq 60$	40	2.5	1.5	40	4.0	2.5	
	$60<t\leq 100$	50	3.0	2.0	60	5.0	3.0	
	$100<t\leq 200$	60	3.0	2.0	80	6.0	3.5	
	$t>200$	80	3.5	2.5	100	6.0	3.5	
Ⅲ级	30~500	超过Ⅱ级者						
注: 母材壁厚不同时,取薄侧厚度值。								

8 检测记录与报告

8.1 检测记录

检测记录主要包括工程名称、工件编号、焊缝编号、坡口形式、焊接方法、母材材质、规格、表面质量、检测方法、检测标准、验收标准、检测比例、仪器型号、探头规格、耦合剂、试块、检测灵敏度、所发现的缺陷及评定记录、检测人员及其资格等级和检测日期等。

8.2 检测报告

检测报告至少应包括以下内容:

- a) 委托单位;
- 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:仪器型号及编号、探头、位置传感器、试块、耦合剂等;
- e) 检测工艺参数:扫描类型、显示方式、扫查方式、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:数据文件名称、扫查数据以电子版形式保存;

- i) 检测结论:评定出缺陷性质、位置、尺寸及是否允许;
- j) 检测人员和审核人员签字;
- k) 检测日期。

附 录 A
(规范性)

A 型相控阵试块和 B 型相控阵试块(声束控制评定试块)

A 型相控阵试块见图 A.1,B 型相控阵试块见图 A.2。

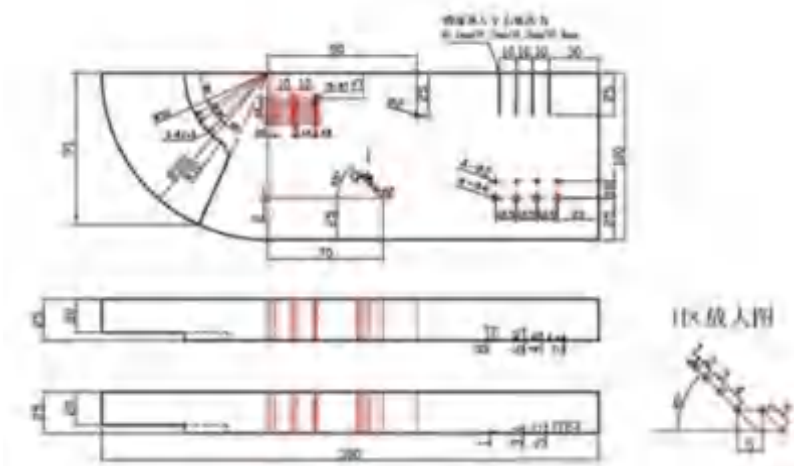


图 A.1 A 型相控阵试块

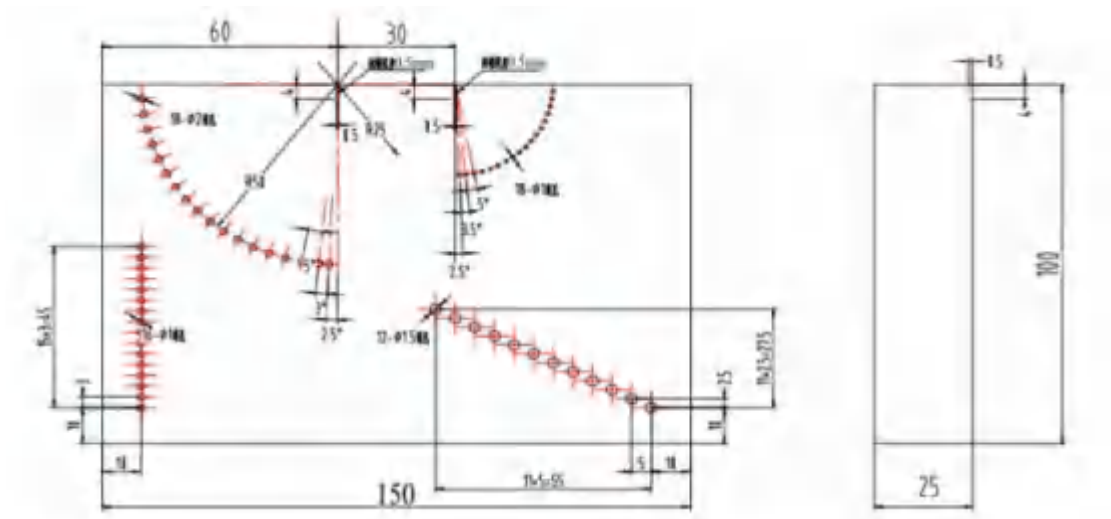


图 A.2 B 型相控阵型试块

附 录 B

(资料性)

厚壁管座角接焊接接头检测工艺设置

厚壁管座角接焊接接头检测工艺设置见表B.1。

表 B.1 厚壁管座角接焊接接头检测工艺设置

管座角接焊接接头结构	尺寸 mm		检测部位	探头	楔块	孔径	角度范围 (°)	聚焦 (半声程) mm	步进 偏移 mm
	筒体尺寸	接管尺寸							
安放式	$\Phi 1800 \times 100$	$\Phi 325 \times 40$	接管外	AT—5MHz	AL—55SW	16	40~70	65	—50
						32	40~60	115	—90
			筒体内	LM—5MHz	LM—0LW	16	0或—30~30	100	—148
插入式(1)	$\Phi 1800 \times 100$	$\Phi 470 \times 80$	筒体外	AXL—2.25MHz	AXL—55SW	32	PA1:40~65	140	—120
							PA2:38~60	280	—240
			筒体内			32	PA1:40~65	150	—150
						16	PA2:40~70	100	—70
			支管侧			32	PA1:35~70	100	—70
插入式(2)	$\Phi 1600 \times 75$	$\Phi 426 \times 28$	筒体内	AXL—2.25MHz	AXL—55SW	32	PA1:40~65	150	—100
						16	PA2:40~70	100	—50
			支管侧	AL—5MHz	AL—55SW	32	36~72	50	—100