

ICS 23.020.30

J 74

团 体 标 准

T/CMES XXX—20XX

承压设备小径接管角焊缝多模相控阵超声 检测方法

Multi-mode Phased-array ultrasonic testing method for
small diameter pipe fillet welds in pressure equipment

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制订中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会团体标准管理办法》进行制订和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律法规或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不得以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主楼国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

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.....	3
5 评定.....	11
6 检测记录和报告.....	14
附录 A（规范性） 成像模式的选择.....	15

中国机械工程学会标准征求意见稿

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。

本文件由中国机械工程学会提出。

本文件由中国机械工程学会压力容器分技术委员会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

中国机械工程学会标准征求意见稿

承压设备小径接管角焊缝多模相控阵超声检测方法

1 范围

本文件规定了承压设备小径接管角焊缝采用相控阵超声检测的方法和质量分级要求，按本文件相关技术要求进行的相控阵超声检测为可记录的脉冲反射法超声检测。

本文件适用于小径接管外径 18mm~90mm，壁厚 3.2mm~25mm 的，在役、在制碳钢小径接管全焊透结构型式的角接头相控阵检测，对其它规格尺寸的小径接管，若经过工艺验证试验，能够满足检测灵敏度要求的，可参照本文件内容。

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，注明日期的引用文件，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 12604.1-2020 无损检测 术语 超声检测

GB/T GB/T 42399.1—2023 无损检测仪器 相控阵超声设备的性能与检验 第1部分：仪器

GB/T GB/T 42399.2—2023 无损检测仪器 相控阵超声设备的性能与检验 第2部分：探头

GB/T GB/T 42399.3—2023 无损检测仪器 相控阵超声设备的性能与检验 第3部分：组合系统

GB/T 43921-2024 无损检测 超声检测 全矩阵采集/全聚焦技术（FMC/TFM）

JB/T 8428-2015 无损检测 超声试块通用规范

NB/T 47013.1-2015 承压设备无损检测 第1部分：通用要求

NB/T 47013.3-2023 承压设备无损检测 第3部分：超声检测

NB/T 47013.15-2021 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

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

全矩阵采集/全聚焦技术（FMC/TFM） full matrix capture/total focusing method

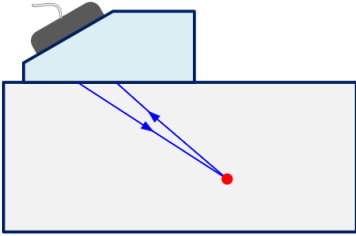
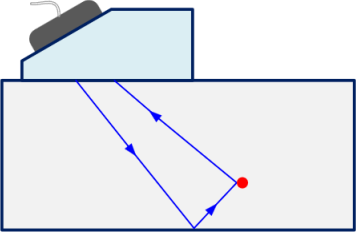
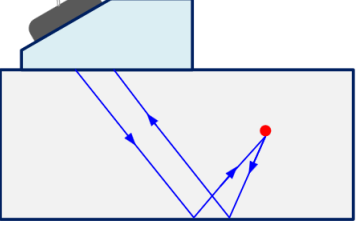
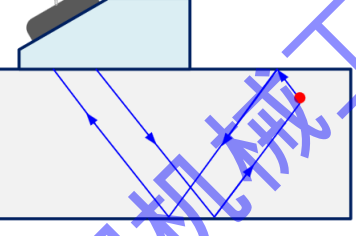
全矩阵采集/全聚焦技术是数据采集方案和成像方案的组合。全矩阵采集依序激发超声阵列探头的每个阵元，所有阵元接收声场回波信号，遍历激发所有阵元之后获得的采集数据，然后基于全矩阵采集根据延迟法则对目标网格化成像区域内的每一个网格点进行聚焦计算。

3.2

多模式全聚焦 multi-mode TFM

采用一组全矩阵数据，考虑声束在检测对象中的声波模式转换和界面反射，通过全聚焦后处理生成多个模式的超声图像。可用的各种成像路径见表 1。

表1 多模式成像路径

成像路径	示例	描述
	T-T L-L L-T	直接发射，直接接收
	T-TT, TT-T TT-L, L-TT LL-L, L-LL TL-T, LT-L 等	直接发射，间接接收；间接发射，直接接收
	TT-TT, LL-LL LL-TL, LL-TT TL-TL, LL-LT TL-TT, LL-LT LT-TL, LT-TT	间接发射，间接接收
	TT-TTT, TTT-TT LL-LLL, LLL-LL 等	间接发射，两次间接接收；两次间接发射，间接接收；

注 1：所有的图都是示意图，未按比例。基于互易性原理，发射探头和接收探头能互换，即整个路径都能沿反方向进行。图表中路径箭头的方向是任意的。使用双探头一发一收配置及两次以上的间接发射/接收不再赘述。
 注 2：使用间接成像路径，则需更加精确的评定工件的实际物理性能和几何结构，如声速、壁厚或不平整的表面。这些在后处理中可进行补偿，或使用自适应成像算法。
 注 3：L 代表纵波，T 代表横波

3.3

安放式管座角焊缝 placed pipe socket angle seam

接管座安放在集箱筒体、压力容器或管道上焊接而成的管座角焊缝，如图 1 所示。

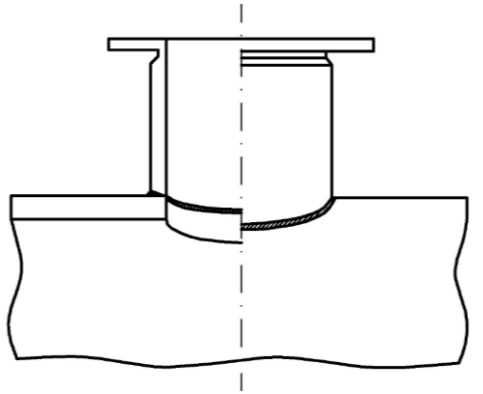


图1 安放式管座角焊缝

3.4

插入式管座角焊缝 plug-in pipe socket angle seam

接管座插入集箱筒体、压力容器或管道内部焊接而成的管座角焊缝，如图 2 所示。

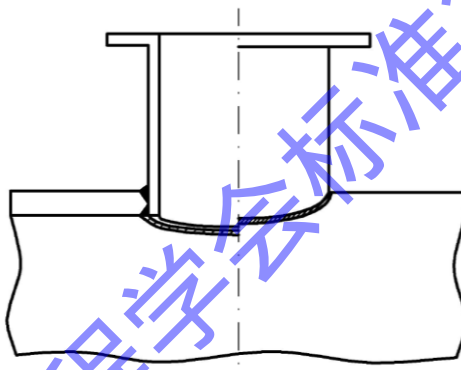


图2 插入式管座角焊缝

4 一般要求

4.1 检测人员

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

4.1.2 相控阵超声检测的人员应具有一定的金属材料、焊接、热处理及承压设备制造安装等方面的基本知识；对于从事小径接管角焊缝检测的相控阵超声检测人员，还应了解相关材料、结构、焊接和制造工艺，经过专项训练，并具备一定的检测经验和相应的检测能力。应接受全聚焦相控阵超声检测方法的培训，对使用的相控阵探头的声场特性有一定了解，能够对检测中可能出现的问题做出正确的分析、判断和处理。

4.2 检测设备和器材

4.2.1 检测设备包括相控阵检测仪器以及与仪器相连接的探头、扫查装置和线缆等所有物件构成的整体；器材是指实现检测功能所需要且不与仪器相连接的其他器件和材料，包括试块和耦合剂等。

4.2.2 检测设备

4.2.2.1 相控阵超声检测设备应符合 NB/T 47013.15 的有关规定。

4.2.2.2 检测设备至少应具有超声波发射、接收、放大、全矩阵或部分矩阵数据采集、多模全聚焦计算、连续记录原始图谱等功能。

4.2.2.3 检测设备至少含有 32 个独立并行通道系统，带宽宜足够大，以接收至少为探头中心频率两倍的信号。检测设备应能够采集足够长的 A 扫信号，以包含需要进行处理的所有成像路径。

4.2.2.4 检测设备的采样频率应至少是探头标称中心频率的 5 倍，如果对 A 扫进行插值，硬件的采样频率可以降低至探头上截止频率(-6dB)的 3 倍。

4.2.2.5 仪器应具有场校准功能。

4.2.3 检测软件

4.2.3.1 检测软件应具有在线和离线分析功能，并具备全聚焦成像不同模式的 B 型显示、D 型显示及 C 型显示功能，宜具有极坐标显示功能；应对图谱增益值有调节功能，具有查看检测时参数、查看和修改成像参数的功能。

4.2.3.2 全聚焦处理后的数据通常是一个网格区域，其中每个网格点代表计算后的幅值。网格通常是规则的矩形网格或三维网格（用于 3D 全聚焦成像），选择的网格间距（成像像素）应足够小以检测到不连续信号。全聚焦图像中选择最小成像像素的原则是，在探头位置出现微小偏差时，参考反射体的回波幅度偏差在规定的误差范围内。

4.2.3.3 由于小径接管结构特殊，采用多模式时，应具有生成或能导入小径接管角焊缝模型的功能。

4.2.4 探头

4.2.4.1 能使用任何线阵或矩阵探头采集数据，但本文件仅限使用线阵探头，根据小径接管的检测需要，探头应尽可能小型化。探头的标称频率范围一般为 1MHz~10MHz，阵元数目推荐不少于 16 个。

4.2.4.2 根据多模成像的要求，应尽量采用延迟块、斜楔或水浸法进行斜入射检测。应获取延迟块或楔块的详细信息，包括其类型、尺寸、角度和声速。延迟块或楔块的形状应与被检工件曲率相匹配，边缘与被检工件接触面的间隙应不大于 0.5 mm。

4.2.5 仪器和探头的组合性能

4.2.5.1 仪器和探头的组合性能包括垂直线性（显示幅度线性）、水平线性、衰减器精度、组合频率、成像横向分辨力和纵向分辨力、成像横向和纵向几何尺寸测量误差。

4.2.5.2 组合性能的要求

- a) 水平线性偏差不大于 1%，垂直线性偏差不大于 5%；
- b) 衰减器精度，任意连续 20dB 衰减器累计误差不大于 1dB，任意连续 60dB 衰减器累计误差不大于 2dB；
- c) 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%；
- d) 成像横向分辨力和纵向分辨力均不大于 2mm；
- e) 采用 5MHz 相控阵探头，成像横向和纵向几何尺寸测量误差不大于 ±5%。

4.2.5.3 以下情况应测定仪器和探头的组合性能：

- a) 新购置的相控阵超声检测仪器和（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。

4.2.6 耦合剂

- 4.2.6.1 耦合剂应具有透声性较好且不损伤被检工件表面的性质，如机油、化学糨糊、甘油和水等。
- 4.2.6.2 耦合剂应在标准规定的温度范围内稳定可靠。

4.2.7 扫查装置

为了获得成像（数据采集）的一致性，应使用扫查编码器。主扫查方向的扫查步进取决于被检测件的厚度，对于小径接管，当壁厚 $t \leq 6\text{mm}$ 时，扫查步进为 0.5mm ，否则为 1mm 。扫查速度应与使用的仪器匹配，避免数据丢失。

扫查装置应能至少提供扫查步进方向的位置信息，用于生成与位置相关的图像。

扫查装置能采用电机驱动或手工推动，两者都应采用合适的导向装置。

探头夹持部分应能调整和设置探头位置，在扫查时保持探头位置和相对角度不变。

4.2.8 试块

4.2.8.1 标准试块

4.2.8.1.1 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、A 型相控阵试块和 B 型相控阵试块。

4.2.8.1.2 CSK-I A 试块的具体形状和尺寸见 NB/T 47013.3A 型相控阵试块及 B 型相控阵试块的具体形状和尺寸见 NB/T 47013.15。

4.2.8.1.3 标准试块的制造应满足 JB/T 8428 的要求。

4.2.8.2 通用对比试块

4.2.8.2.1 通用对比试块中参考反射体均为 $\phi 2\text{mm}$ 的横通孔，试块的形状和尺寸可参考图 3 的规定，试块上下表面的曲率可根据实际情况进行改变。

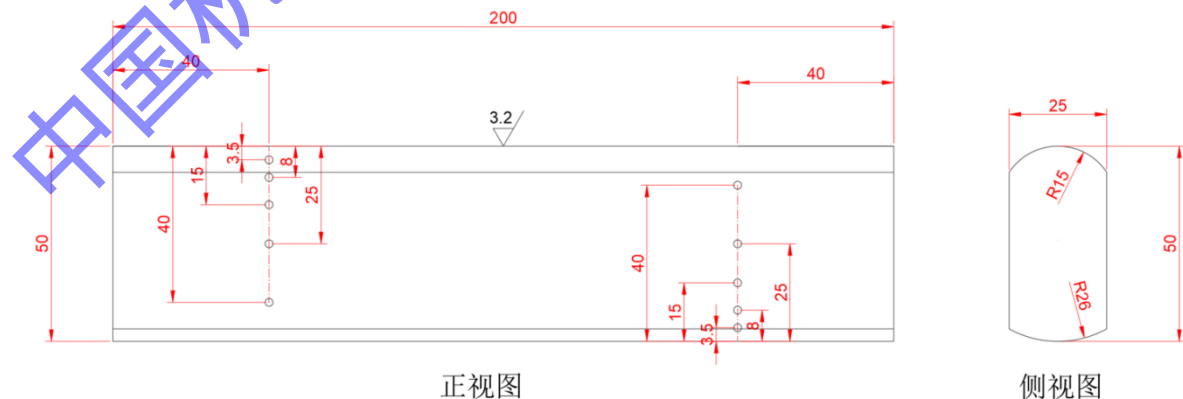


图3 通用对比试块

4.2.8.2.2 采用通用对比试块时，至少选用试块中与焊缝高度相适应的三个不同深度的横通孔，以

TCG 或 DAC 方式进行灵敏度设置，再根据被检角焊缝与试块实际情况进行耦合补偿和衰减补偿。

4.2.8.2.3 对比试块材质一般应与检测对象的材质相同。

4.2.8.3 专用对比试块

4.2.8.3.1 按照被检小径接管的材料、外形尺寸和制造工艺制作专用对比试块；

4.2.8.3.2 专用对比试块分为平面专用对比试块和曲面专用对比试块，平面专用对比试块参考小径接管的截面形状，而不考虑曲率，可用于多模相控阵检测工艺验证。

4.2.8.3.3 参考反射体的设置应考虑被检工件中可能存在的缺陷类型、大小、位置和走向。

4.2.8.4 模拟试块

4.2.8.4.1 模拟试块是指含有模拟缺陷的试块，主要用于小径接管检测工艺验证。

4.2.8.4.2 模拟试块的材料和声学特性应与被检工件相同或相近，无影响检测的其他缺陷。

4.2.8.4.3 模拟试块的焊接形式、外形结构、厚度和表面条件均应与被检工件相同或相近。

4.2.8.4.4 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。

4.2.8.4.5 模拟缺陷的类型、位置、尺寸和数量设置应考虑被检工件中可能存在的缺陷状态，缺陷类型主要为裂纹、坡口未熔合、未焊透和条状缺陷等典型焊接缺陷。

4.2.8.4.6 模拟缺陷长度不应小于 3mm。

4.3 检测工艺文件要求

4.3.1 检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书。

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2 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	被检接管焊接接头类型和几何形状，包括接管及主管规格、尺寸和形式等
2	焊接方法、焊接工艺（如坡口型式、角度等）
3	检测面状态
4	检测仪器类型
5	相控阵探头类型及参数，参数包括阵元高度和宽度、间隙、数量等
6	楔块类型及参数，参数包括角度、高度、前沿等
7	校准试块、校准方法、耦合剂类型
8	扫查方向及扫查范围
9	检测技术和使用的模态
10	附加检测（如需要）及要求
11	人员资格要求、检查记录、检测报告要求
12	缺陷定量方法、评定方法、质量分级、验收级别、检测数据的分析和解释
13	验收级别（质量等级）

4.3.3 操作指导书应符合以下要求

操作指导书应根据工艺规程的内容以及被检工件的检测要求编制，至少应包含以下内容：

a) 操作指导书编号；

- b) 依据的工艺流程及其版本号；
- c) 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、扫查方式和检测前的表面准备；
- d) 检测对象：承压设备类别，检测对象的名称、编号、规格尺寸、材质和热处理状态、检测部位（包括检测范围）；
- e) 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；
- f) 检测工艺参数：探头配置、多模式、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）；
- g) 检测程序；
- h) 检测示意图；
- i) 数据记录的规定；
- j) 编制者（级别）和审核者（级别）；
- k) 编制日期。

4.4 检测工艺技术要求

4.4.1 检测准备

4.4.1.1 在承压设备小径接管的生产和使用过程中，检测时机应符合相关法规、规程、产品标准及有关技术文件的规定。具有延迟裂纹倾向的材料应当至少在焊接完成 24h 后进行检测。

4.4.1.2 所确定的检测面应保证工件被检部分能得到充分检测，还应综合考虑工件的结构、焊接方法及工艺、可能产生缺陷的性质及部位和方向、使用的技术等级。

4.4.1.3 焊缝的表面质量应经外观检查合格。

4.4.2 检测区域

检测区域为小径接管焊缝本身加上焊缝熔合线两侧 5mm 的一段区域或实际热影响区。

4.4.3 扫查面准备

4.4.3.1 扫查面的选取应综合考虑被检小径接管的结构、制作工艺、缺陷的可能取向及检测实施的可操作性。扫查面一般为管座接管侧，包括管台斜面、垂直面。当扫查面受限导致楔块耦合面超出 50% 区域悬空时，应进行工艺验证，并增加主管侧作为检测面。

4.4.3.2 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 R_a 值应不大于 $6.3 \mu m$ 。

4.4.3.3 检测技术等级

承压设备小径接管焊接接头的相控阵超声检测技术分为 A 级、B 级。A 级检测应保证相控阵超声声束对检测区域实现至少 1 次全覆盖，一般在管座接管侧进行检测；B 级检测应保证相控阵超声声束对检测区域实现至少 2 次全覆盖，一般在管座接管侧和主管侧进行检测。对于制造安装阶段和在役重要设备的小接管角接接头，可采用 B 级检测，但同时应考虑因小接管结构限制而无法完全满足检测技术等级的情况，必要时采用分象限扫查或增加手动锯齿形扫查。

4.4.4 对比试块选用和灵敏度设置的一般原则

4.4.4.1 一般应选用对比试块进行检测灵敏度的设置；当选用专用对比试块时，可不采用通用对比试块。

4.4.4.2 对比试块应覆盖工艺规程中被检接管的类型和规格范围，其厚度应与被检接管或主管的管壁厚度相对应；若涉及不等厚接管，试块厚度的选择应由较大的接管厚度确定，但灵敏度选择应按较小的接管厚度确定。

4.4.5 检测工艺参数设置的一般原则

4.4.5.1 应根据被检接管的类型、规格尺寸、结构、材质、焊接类型、检测面以及检测方式综合选择相控阵探头、楔块和检测区域覆盖方式等。

4.4.5.2 相控阵探头选择的参数包括类型、频率、晶片数量、晶片间距和晶片尺寸等。在能获得稳定的接触耦合和足够的信噪比前提下，应尽可能选用频率更高、晶片数量更多的探头进行检测。一般而言，对于薄壁小径接管焊接接头检测，多选用高频、小激发孔径的探头；对于粗晶小径接管及主管检测，多选用低频、大激发孔径的探头。

4.4.5.3 对于小径接管，应考虑检测面确定楔块的曲率，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修磨，同时考虑对声束的影响。

4.4.6 检测系统参数

检测系统参数设置时应考虑如下因素：

- a) 探头参数：阵元间距、阵元数量、探头频率、零点（实测）。
- b) 楔块参数：中心阵元高度、楔块角度、楔块声速、前沿。
- c) 工件参数：工件声速（实测）、工件厚度（实测）。
- d) 检测参数：发射电压（确保超声波要有足够的穿透力）、脉冲宽度、脉冲重复频率（脉冲重复频率应小于阵元数量×工件声速/2倍声程且不出现幻像波取较大值）、频带范围（滤波器，根据探头频率取适当范围）、增益。
- e) 成像区域参数：区域宽度（一帧图像实际宽度）、区域高度（一帧图像实际高度）、X轴偏移（区域宽度在探头宽度方向的偏离探头中心阵元的尺寸）、Z轴偏移（区域高度在高度方向偏离检测面的尺寸）。

4.4.7 成像模式的选择

一般采用横波斜入射检测，采用的模式包括TT（横波一次波）、TTT、TTTT（横波二次波）等，不同模式对缺陷的检测灵敏度不同，成像模式的选择参阅附录A；也可采用多模融合成像方法。

当工艺验证后角焊缝近表面存在盲区时，应采用表面检测方法作为补充检测。

4.4.8 成像的像素

成像区域是由区域宽度和区域长度确定的二维区域，区域内像素尺寸越小，分辨力越高，对于小径接管多模全聚集成像，成像区域内像素尺寸应不大于0.3mm。

4.4.9 灵敏度补偿

4.4.9.1 耦合补偿

在连续记录图谱检测时，应对由表面粗糙度和平整度引起的耦合损失进行补偿。

4.4.9.2 衰减补偿

当检测工件与灵敏度试块确定存在材质衰减差异时，在检测和缺陷定量时，应对材质衰减引起的检测灵敏度差异和缺陷定量误差进行补偿。

4.4.9.3 曲面补偿

对于小径接管，应采用曲率半径与接管相同或相近的对比试块，否则应通过对比试验进行曲率补偿。

4.4.9.4 模式补偿

对于使用工件底面反射进行成像的模式，如 TTT、TTTT 等，工件壁厚的变化会导致缺陷的失焦或定位错误，应该通过采用专用对比试块进行对比试验或采用自适应成像算法进行补偿。

4.4.10 校准

4.4.10.1 参考 47013.15 的要求进行于 TCG 和 ACG 校准，也可采用场校准。

4.4.10.2 小径接管场校准试块的曲率应与被检管径相同或相近，对比试块可采用场校准-GS 系列试块，其型号、形状和尺寸应分别符合图 4 和表 3 的规定

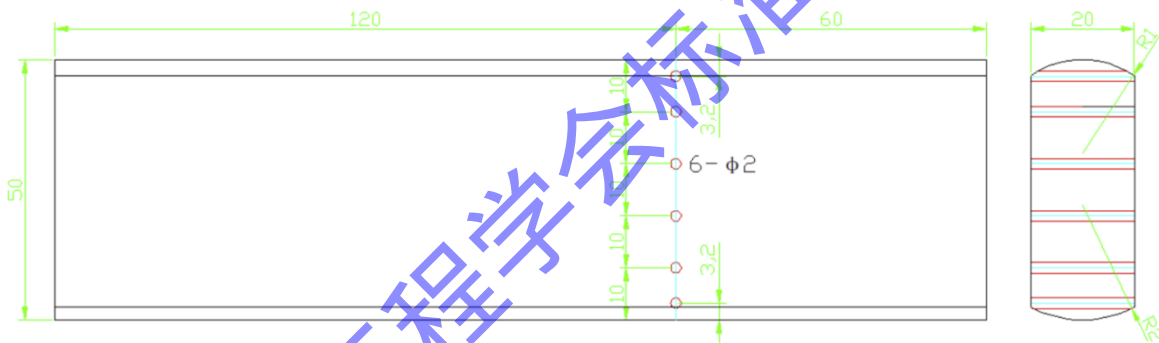


图4 场校准-GS 试块

表3 场校准-GS 试块尺寸圆弧曲率半径和适用外径范围

单位：mm

试块型号	试块圆弧曲率半径 R1	适用管外径范围	试块圆弧曲率半径 R2	适用管外径范围
场校准-GS1	14	25~32	18	32~40
场校准-GS2	22	40~48	26	48~57
场校准-GS3	32	57~72	40	72~90

4.4.10.3 根据确定的检测工艺选择相应的检测模块，在工艺参数界面，准确输入的探头参数、楔块参数、工件（试块）参数；在校准界面输入设定的检测参数和成像区域参数，检测参数除增益外其他参数在检测中不能更改，成像区域参数在检测时可以在此成像区域内调整；在通孔位置栏中准确输入区域高度范围中的通孔深度。

4.4.10.4 应用法则且清除以往的应用，成像区域内不允许强度较大的界面波等存在；且人工反射体信噪比大于 20dB，确认后方可校零；成像区域内深度大于等于 10mm 的横孔场校准前回波声压应在 6dB 范围之内。

4.4.10.5 校准时应缓慢前后移动探头，为使其能够采集到最高回波，探头前后移动时应确保声束与反射面垂直；校准完成后前后移动探头检查整个成像区域内的一竖排横孔上下左右位置回波幅度应在 2dB 范围内。

4.4.10.6 场校准曲线的绘制和检测灵敏度确定

4.4.10.6.1 场校准曲线的绘制

在检测界面加载场校准文件后，在成像区域内找到相应场校准试块一竖排横孔，调节数字增益使一竖排长横孔的峰值波高到达图像最大值的80%，此时的增益值为长横孔的基础值，在此基础上进行灵敏度补偿后按照表4根据工件厚度制作场校准曲线，该曲线族由评定线、定量线和判废线组成。评定线与定量线之间（包括评定线）为I区，定量线与判废线之间（包括定量线）为II区，判废线及其以上区域为III区，如图5所示。

表4 横波斜入射或纵波直入射检测场校准曲线灵敏度

接管厚度/mm	评定线	定量线	判废线
≥3.2~6	φ 2-14dB		φ 2-8dB
≥6	φ 2-16dB	φ 2-10dB	φ 2-4dB

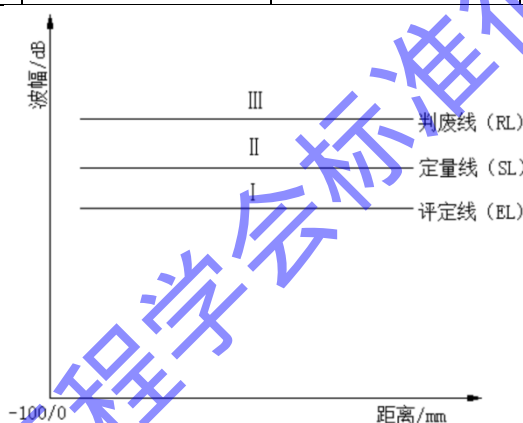


图5 场校准曲线

4.4.10.6.2 以定量线波高 80% 作为扫查灵敏度。

4.4.11 温度

4.4.11.1 应确保在规定的温度范围内进行检测；采用常规阵列探头和耦合剂时，被检件的表面温度应控制在 0℃~50℃；超出该温度范围，可采用特殊探头和耦合剂。

4.4.11.2 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。

4.4.12 检测系统的复核

4.4.12.1 复核时机

在如下情况时应进行复核：

- a) 检测过程更换探头或耦合剂时；
- b) 检测人员怀疑时；
- c) 连续工作4小时以上时；

d) 检测结束时。

4.4.12.2 复核要求（复核时用的对比试块应与初始设置时的对比试块相同）

4.4.12.2.1 缺陷深度和水平位置的复核

使用对比试块测定横孔的深度位置和水平位置，误差不大于2mm或壁厚的3%（取较大值），做好记录评定时对缺陷的位置修正；误差大于2mm或壁厚的3%（取较大值）时，应重新测定工件声速、楔块角度、中心高度、前沿，填入正确值重新检测。

4.4.12.2.2 灵敏度的复核

灵敏度偏差小于等于3dB应做好记录，评定时软件纠偏；大于3dB应重新检测。

4.4.12.2.3 位置传感器的复核

当检测设备所显示的位移和实际位移的误差大于1%且不大于5%时，重新校准精度继续检测，大于5%时应应对上次设置以后所检测的位置进行修正。

4.4.13 检测数据存储

4.4.13.1 全聚焦技术通常采集大量的A扫描信号，对应于阵列探头中所有可能的发射和接收的组合。在采集硬件或与采集硬件相连接的计算机上，对A扫描矩阵进行计算成像。可不保存全矩阵数据。

4.4.13.2 构建的多模全聚焦图像以及应用的成像参数和处理步骤均应存储于数字存储介质，例如硬盘或服务器，以供后续参考。

4.4.14 检测系统的复核应符合 NB/T 47013.15 的有关规定

4.5 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。

5 评定

5.1 检测图谱的评价

5.1.1 检测图谱的有效性

5.1.1.1 分析图谱前应对所采集的图谱进行评估以确定其有效性，至少应满足以下要求：

- a) 检测图谱应耦合良好；
- b) 图谱的长度应与实际相符；
- c) 检测区域应在图谱成像区域之内；

5.1.1.2 若图谱数据无效，应纠正后重新进行扫查。

5.1.2 显示的分类

检测结果的显示分为相关显示和非相关显示。

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。

5.2 缺陷定量

5.2.1 缺陷定量基准

缺陷定量以评定线为基准，对回波波幅达到或超过评定线的缺陷，应确定其深度、波幅和指示长度、高度（若需要）等，如有需要，可采用多种模式结合的方法提高定量精度。

5.2.2 缺陷波幅

对于需定量的缺陷，为确定缺陷的波幅，应增加锯齿形扫查，以此时获得的最大波幅（不同检测面）作为缺陷的波幅。

5.2.3 缺陷深度

以获得缺陷的最大反射波幅的位置为缺陷深度。

5.2.4 缺陷指示长度

5.2.4.1 结合全聚焦成像在 B 扫描或 C 扫描视图上进行缺陷指示长度测定。

5.2.4.2 当缺陷反射波只有一个高点，且位于 II 区或 II 区以上时，用 -6dB 法测量其指示长度。

5.2.4.3 当缺陷反射波峰值起伏变化，有多个高点，且均位于 II 区或 II 区以上时，应以端点 -6dB 法测量其指示长度。

5.2.4.4 当缺陷最大反射波幅位于 I 区，将探头左右移动，使波幅降到评定线，以用评定线绝对灵敏度法测量缺陷指示长度。

5.2.5 缺陷自身高度

5.2.5.1 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。

5.2.5.2 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其上端点或下端点的位置。

5.2.5.3 以任一点测定的最大值作为该缺陷的自身高度。

5.2.6 多个相邻缺陷的定量

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 endpoint 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）。

5.3 缺陷的评定和质量分级

5.3.1 接管检测面厚度为 3.2mm~6mm 的承压设备本体小径接管焊接接头的质量评定

- 5.3.1.1 凡判定为裂纹、坡口未熔合等危害性的缺陷显示，评为Ⅲ级。
- 5.3.1.2 凡在判废线（含判废线）以上的缺陷显示，评为Ⅲ级。
- 5.3.1.3 凡在评定线（含评定线）以上、判废线以下且指示长度大于 5mm 的缺陷显示，评为Ⅲ级。
- 5.3.1.4 单个条形缺陷自身高度大于 1/4 接管壁厚的显示，评为Ⅲ级。
- 5.3.1.5 凡在评定线（不含评定线）以下的缺陷显示，评为 I 级。

5.3.2 接管检测面厚度大于 6mm 的承压设备本体小径接管焊接接头的质量评定

- 5.3.2.1 凡判定为裂纹、坡口未熔合等危害性的缺陷显示，评为Ⅲ级。
- 5.3.2.2 凡在判废线（含判废线）以上的缺陷显示，评为Ⅲ级。
- 5.3.2.3 凡在评定线（不含评定线）以下的缺陷显示，评为 I 级。
- 5.3.2.4 对于评定线以上、判废线（不含判废线）以下的缺陷显示评定：

制造安装阶段的承压设备本体小径接管焊接接头质量分级方法按表5的规定进行。

在用的承压设备本体小径接管焊接接头质量分级方法按表6的规定进行。

表5 制造安装阶段的小径接管焊接接头质量分级方法

单位：mm

等级	反射波幅所在区域	单个缺陷指示长度	缺陷的累计长度
I 级	I	≤ 40	-
	II	$\leq t/3$, 最小可为 8, 最大为 30	\leq 角焊缝公称周长的 10%, 且小于 20
II 级	I	≤ 60	-
	II	$\leq 2t/3$, 最小可为 10, 最大为 40	\leq 角焊缝公称周长的 10%, 且小于 30
III 级	I	超过 II 级者	
	II		

注：t 为接管检测面的壁厚

表6 在用阶段的小径接管焊接接头质量分级方法

单位：mm

等级	接管检测面厚度	表面缺陷			埋藏缺陷			多个缺陷
		长度 l_{max}	高度 h_3	若 $l > l_{max}$ 高度 h_1	长度 l_{max}	高度 h_2	若 $l > l_{max}$ 高度 h_1	
I 级	$3.2 \leq t \leq 8$	t	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 , 且在任意 12t 范围内累计长度不超过 2t 且不超过 50mm; 2) 对于单个或多个允许的表面缺陷, 其最大累计长度不大于整条焊缝长度的 5% 且最长不超过 80mm
	$8 < t \leq 25$	8	2.0	1.0	8	2.0	1.0	
II 级	$3.2 \leq t \leq 8$	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 3t 且不超过 80mm; 2) 对于单个或多个允许的表面缺陷, 其最大累计长度不大于整条焊缝长
	$8 < t \leq 25$	t	2.0	1.0	t	2.0	1.5	

								度的10%且最长不超过100mm
III级	3.2~25	超过II级者						
注： t 为接管检测面的壁厚								

6 检测记录和报告

6.1 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。至少应包括以下内容。

- a) 应画图记录小径接管角接接头的详细情况，如接管形式、焊缝形式、坡口角度和形状、焊缝两侧壁厚、前端距、成像区域、检测标识、检测部位及无法检测的部位；同时记录检测工件的名称、类别、编号、材质、热处理状态、检测面平整情况等；
- b) 检测设备和器材：检测设备、探头、楔块、耦合剂、扫查装置、试块等名称、规格型号和编号；
- c) 检测技术要求和工艺参数：执行标准、检测技术等级、检测时机、检测比例、合格级别、基准灵敏度、灵敏度补偿、激发电压、脉冲宽度、扫描方式和扫查方式、探头位置、成像过程、使用的成像模式、检测前的表面准备、耦合补偿量等；
- d) 手动扫查时现场应详细记录缺陷的定量、定位信息并保存缺陷图谱；
- e) 图谱的评定；
- f) 检测人员、图谱评定人员和复核人员签字；

6.2 应依据检测记录和图谱评定结果出具检测报告，至少应包括以下内容：

- a) 委托单位、检测记录编号、报告编号；
- b) 检测对象：承压设备类别，检测对象的名称、编号、规格尺寸、材质和热处理状态、检测部位和检测比例、检测时的表面状态、检测时机等；
- c) 检测技术要求：执行标准、合格级别和检测技术等级；
- d) 检测设备和器材：检测设备、探头、楔块、耦合剂、扫查装置、试块的名称和规格型号；
- e) 检测工艺参数；
- f) 检测部位示意图：检测部位以及所发现的缺陷位置和分布图；
- g) 缺陷部位图谱：多模全聚焦显示联合B型显示或C型显示等；
- h) 图谱评定结果和检测结论；
- i) 编制者、审核者和编制日期。

附录 A (规范性) 成像模式的选择

通过从发射阵元到接收阵元路径中包含的边界反射，能利用反射和衍射信号从不同方向对成像区域内的缺陷进行成像，从而提升检测性能和可靠性。

体积型缺陷产生的（多方向）反射和缺陷边缘可以产生的（多方向）衍射通常是通过覆盖缺陷区域的每个成像路径来检测。

最佳成像模式的选择可根据以下原则选取：

- 声束在缺陷处的入射角度和反射角度垂直或几乎垂直于缺陷的取向角度；
- 声束在缺陷处的入射角度和反射角度与缺陷取向角度的法线方向对称或几乎对称；
- 根据Snell定律，在缺陷处发生波型转换。

根据以上原则，不同取向角度缺陷的最佳成像模式见下表。

表 A.1 最佳成像模式

缺陷的取向角度	最佳成像路径示意图	最佳成像路径
0°-30°附近 (单探头)		直接发射，直接接收 常用模式包括：LL, LT, TT
30°-60°附近 (单探头)		直接发射，直接接收； 直接发射，间接接收； 常用模式包括：LL, LLT, LT, TLT, TT
90°附近 (单探头)		直接发射，间接接收； 间接发射，直接接收； 间接发射，两次间接接收； 两次间接发射，间接接收； 常用模式包括：LLL, TTT, LTL, TTTT
150°附近 (单探头)		间接发射，间接接收 常用模式包括：TTTT, LLLL, LLLT, LTTL, TLLT
0°附近 (双探头)		直接发射，直接接收 (该配置一般难以用于角焊缝检测) 常用模式包括：LL, LT, TT

附录 B (资料性) 细小接管定义及常见结构形式

B.1 细小接管

在设备本体或主管道上采用焊接连接的 DN40 及以下的三通或四通、半管接头、支管座、开孔焊或开孔补强等支管结构。如：与设备本体或管道连接的安全附件、仪表（温度仪表、压力仪表、液位仪表、流量计）、放净导淋、排气放空、吹扫接口、跨线、采样接头等。

B.2 常见结构形式

B.2.1 三通或四通

结构型式参见图B.2.1，按照 SH/T 3408、SH/T 3410、GB/T 13401 等标准执行。

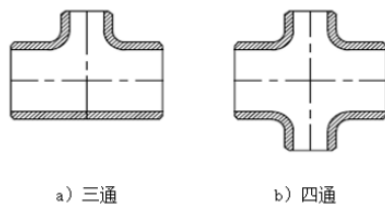


图 B.2.1

B.2.2 半管头

又称加强管嘴或半管箍，结构形式参见图B.2.2，按照 SH/T 3410、GB/T 14383、ASME B16.11 等标准执行。

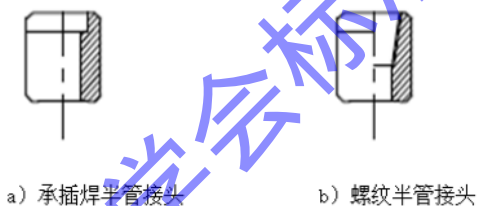


图 B.2.2

B.2.3 支管座

又称支管台，结构形式参见图B.2.3，按照 GB/T 19326、MSS SP-97 等标准执行。

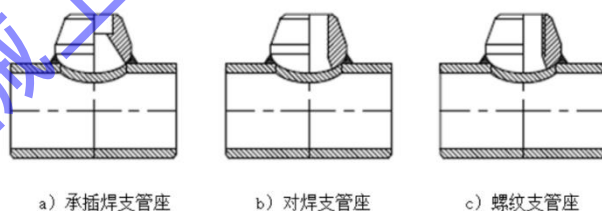


图 B.2.3

B.2.4 开孔焊或开孔补强

结构形式参见图B.2.4，一般按照GB/T 20801、GB 50316、GB/T 150、ASME B31.3等标准执行。

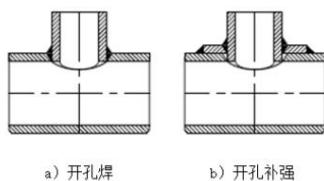


图 B.2.4