

ICS **.***.**

CCS P 72

T/CPI

团体标准

T/CPI ****—****

承压设备奥氏体不锈钢对接头 相控阵超声检测和 A 型脉冲反射法 超声检测

Phased array ultrasonic testing and A-type pulse reflection
ultrasonic testing of thick wall austenitic stainless steel
butt joints for pressure equipment
(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

20**-**-**发布

20**-**-** 实施

中国石油和石油化工设备工业协会

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	5
4 一般要求	9
4.1 检测人员	9
4.2 试块	9
4.3 耦合剂	13
4.4 检测时机	13
4.5 检测一般程序	13
4.6 环境与安全要求	14
5 承压设备奥氏体不锈钢焊接头相控阵超声检测方法和质量分级	14
5.1 适用范围	14
5.2 检测设备	14
5.3 检测区域及表面的制备	16
5.4 检测工艺	16
5.5 图谱编号规则	21
5.6 检测结果的评定和质量等级分类	21
5.7 检测记录、报告和资料存档	23
6 承压设备奥氏体不锈钢焊接接头 A 型脉冲反射法超声检测	23
6.1 适用范围	23
6.2 检测设备和材料	23
6.3 检测区域及面的制备	24
6.4 检测工艺	25
6.5 检测结果的评定和质量等级分类	28
6.6 检测记录、报告和资料存档	29
附录 A (资料性) 标准的符合性声明及修订	30
附录 B (规范性) 承压设备接管与筒体 (或封头) 奥氏体型钢角接接头超声检测方法	31
附录 C (规范性) 承压设备接管与筒体 (或封头) 奥氏体型钢角接接头相控阵超声检测方法	34

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。

本文件由中国石油和石油化工设备工业协会提出。

本文件由中国石油和石油化工设备工业协会 TC5 设备标准化分技术委员会归口。

本文件起草单位：瀚洋重工装备制造（天津）有限公司、一重集团大连核电石化有限公司、中国石化工程建设有限公司、中国寰球工程有限公司北京分公司、天津市特种设备监督检验技术研究院、吉林省特种设备检验中心、北方华锦联合石化有限公司、天津大学、武汉中科创新技术股份有限公司、广东珺相科技有限公司、青岛持恒工程技术有限公司、荣盛新材料（舟山）有限公司。

本文件主要起草人员：吕兆魁、汤显泉、包国平、傅怀博、李铁强、陈旭、柴智刚、许宏伟、王蕊、赵武、周凤革、尹青锋、元少昀、马圆圆、李晓波、李小梅、岳国印、高利惠、王恒、段瑞、苏哲、王德林、李露露、宁晓东、冯骥、陈旭、刘争、谢映奎、金南辉、董毅、辛华。

本文件及其所替代文件的历次版本发布情况为：

——2025年首次发布。

引言

本文件不限制实际工程中采用先进的技术方法，但工程技术人员采用先进的技术方法时需能做出可靠的判定，确保满足本文件规定。

本文件由中国石油和石油化工设备工业协会负责管理，由中国石油和石油化工设备工业协会 TC5 设备标准化分技术委员会负责日常管理和解释，执行过程中如有任何意见和建议，请寄送日常管理单位。对于未经中国石油和石油化工设备工业协会书面授权或认可的其他机构对标准的宣贯或解释所产生的理解歧义和由此产生的如何后果，以及本文件使用方对于因本文件使用不当所产生的任何纠纷和损失，中国石油和石油化工设备工业协会不承担任何责任。

本文件主要审查人员：***、***、***。

CPI 标准征求意见稿

承压设备厚壁奥氏体不锈钢对接接头相控阵超声检测和A型脉冲反射法超声检测

1 范围

本文件规定了厚壁奥氏体不锈钢承压设备焊接接头的相控阵超声检测和A型脉冲反射法超声检测对检测设备、人员资格、检测程序要求和数据采集、判读和评定及验收。

本文件适用于厚度为10mm~110mm承压设备奥氏体型不锈钢及镍基合金钢对接接头的相控阵超声检测和厚度为6mm~110mm承压设备奥氏体型不锈钢及镍基合金钢对接接头的A型脉冲反射法超声检测的方法和质量分级，具体适用的承压设备范围应符合表1的规定：

表1 奥氏体型不锈钢及镍基合金焊接接头超声检测及相控阵检测适用范围

承压设备类别	焊接接头类型	工件厚度 t mm	外径 D ₀ 、检测面直径 D 及内、外径比 r
锅炉、压力容器	筒体（或封头）对接接头	6≤t≤110 (相控阵超声检测 t≥10)	D≥500mm 纵向或环向对接接头； 对于纵向对接接头，r≥60%
			300mm≤D<500mm 的纵向对接接头，且 r≥60%
	接管与筒体（或封头）连接接头		250mm≤D<500 的环向对接接头
		6≤t≤110 (相控阵超声检测 t≥10)	插入式：筒体（或封头）D≥500mm， 且 r≥60%、接管内径≥200mm

本文件适用的焊接接头包括

- a) 奥氏体型不锈钢焊接接头；
- b) 奥氏体焊接接头；
- c) 奥氏体—铁素体型双相不锈钢焊接接头；
- d) 异种钢焊接接头；
- e) 镍基合金焊接接头。

对于超出本文件规定范围的承压设备焊接接头的相控阵检测，如工艺验证能符合本文的规定，并提供相关验证工艺文件及试验数据，可参照本文件的规定执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过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。

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 47013.5 承压设备无损检测 第 5 部分：渗透检测

NB/T 47013.15 承压设备无损检测 第 15 部分：相控阵超声检测

GB/T 12604.1 无损检测 术语

GB/T 27664.1 无损检测 超声检测设备的性能与检验 第 1 分：仪器

GB/T 27664.2 无损检测 超声检测设备的性能与检验 第 2 部分：探头

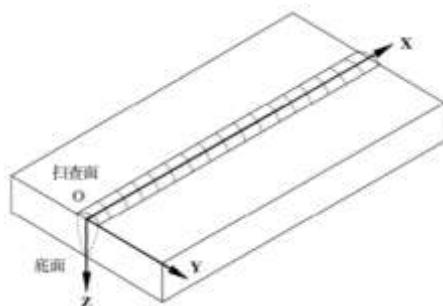
3 术语和定义

GB/T 12604.1 和 NB/T 47013.1 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、Z坐标的含义。对焊接接头，其坐标含义如图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、偏转聚焦等功能，再按一定的延迟法则对各阵元接收到的超声信号进行处理，并以图像的方式显示被检对象内部状态的超声检测方法。

3.3

延迟法则 delay law

用于波束形成与超声信号接收合成的控制法则，一般指参与超声波发射和接收的阵列探头各阵元电路的时序和时间间隔。

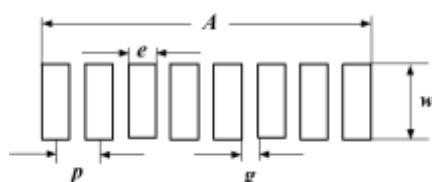
3.4

激发孔径 active aperture

阵列探头一次激发阵元组的尺寸。对于一维线阵探头，若一次激发阵元组尺寸如图 2 所示，则其激发孔径长度为主动方向上的尺寸 A（也称为主动孔径），激发孔径宽度为阵元长度 w。

A 值按式（1）计算：

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



A —激发孔径长度; g —相邻阵元之间的间隙; e —阵元宽度;
 n —激发阵元数量; p —相邻两阵元中心间距; w —阵元度。

图 2 一维线阵探头激发孔径

3.5

探头出射点 probe effluence point

所激发探头阵元组形成的声束中心从楔块中出射的点。

3.6

电子扫描 electronic scanning

采用特定的延迟法则控制阵列探头中的各阵元，使其产生的声束在探头不移动的情况下也可在工件被检测区域中移动，包括线扫描、扇扫描和动态聚焦等。

3.7

线扫描 (L-scan) linear electronic scanning

对同一阵列探头不同的阵元组逐次采用相同的延迟法则，以实现声束沿相控阵探头方向移动。

3.8

扇扫描 (S-scan) sectorial electronic scanning

对同一阵元组逐次采用不同的偏转延迟法则，以实现声束一定角度范围内偏转移动。

3.9

扫查 scan

探头与被检测工件之间的相对移动，可由检测人员手工操作或采用机械扫查。

3.10

机械扫查 mechanical scan

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，可分为纵向扫查和横向扫查。

3.11

纵向扫查 longitudinal scan

探头在距焊缝中心线一定距离 S 位置处沿焊缝长度方向（即图 1 中的 X 轴方）移动的机械扫查方式。根据探头声束方向与探头移动方向的相对关系，分为纵向垂直扫查（如图 3 所示）、纵向平行扫查（如图 4 所示）等方式。

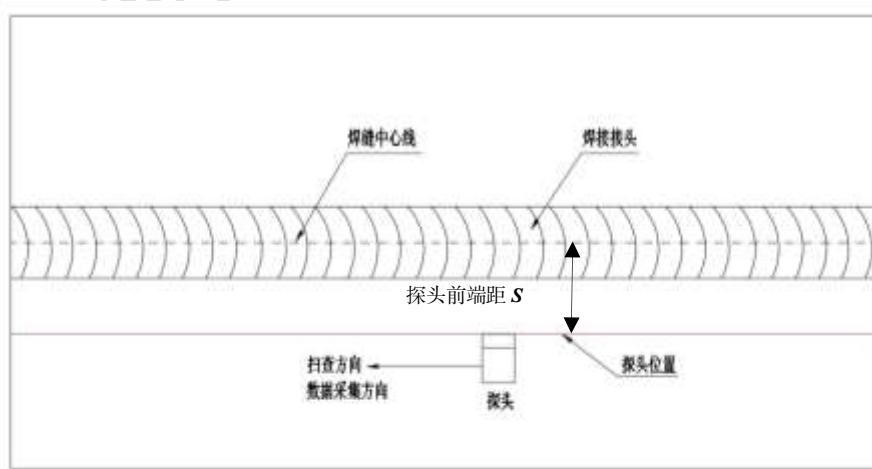


图 3 纵向垂直扫查

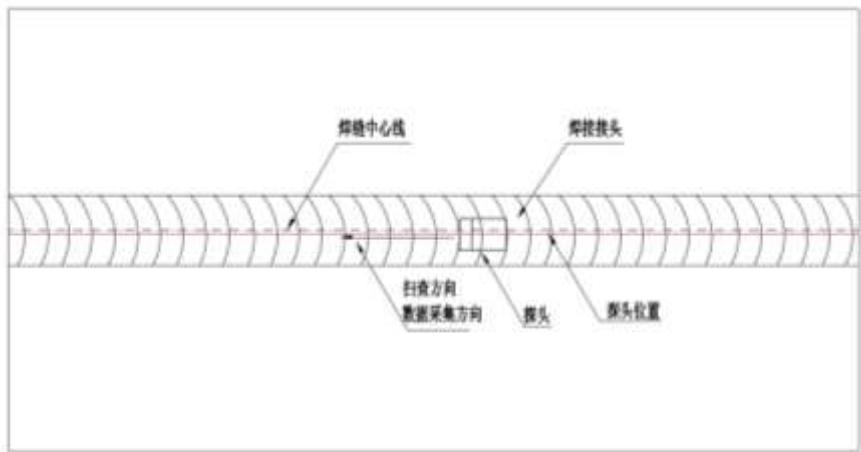


图 4 纵向平行扫查

3.12

横向扫查 transverse scan

探头沿焊缝宽度方向（即图 1 中的 Y 轴方向）移动的机械扫查方式。一般指横向平行扫查方式，此时探头声束方向平行于探头移动方，如图 5 所示。

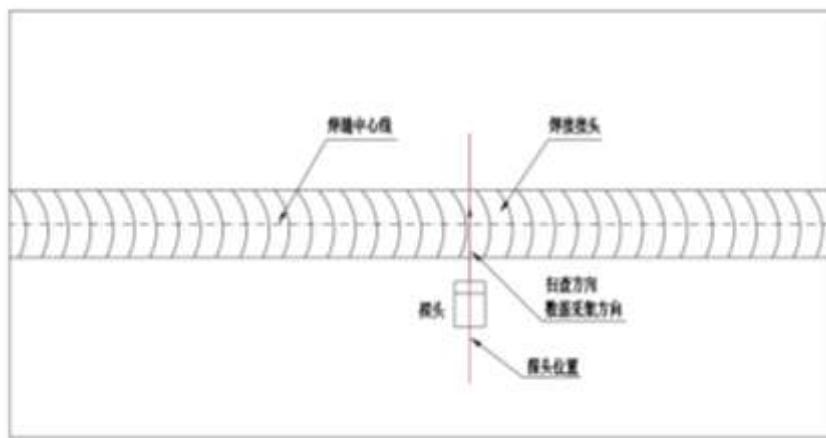


图 5 横向扫查

3.13

探头前端距 probe frontier position

检测焊接接头时，探头楔块前端距离焊缝中心线的距离 S，如图 3 所示。

3.14

面阵探头 area array probe

面阵探头也称为 1.5D 或 2D 阵列。这类探头在两个维度上的激发区域上切割成了不同数量的阵元。（多）例如，这种切割形式以棋盘或扇形阵列呈现。这类探头允许声波在两个平面上进行偏转。

3.15

角度增益修正 (ACG) angle corrected gain

扇扫描角度范围内不同角度的声束检测相同声程和尺寸的反射体，使其回波幅度等量化增益修正方式。

3.16

时间增益修正 (TCG) time corrected gain

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

3.17

B型显示 B-display

在与声束纵截面平行且与工件扫面垂直的剖面所形成的声场图像。对于焊接接头，为Y-0-Z平面投影图像，如图6所示，横坐标表示焊缝宽度，纵坐标表示深度或声程，以不同颜色显示信号波幅。

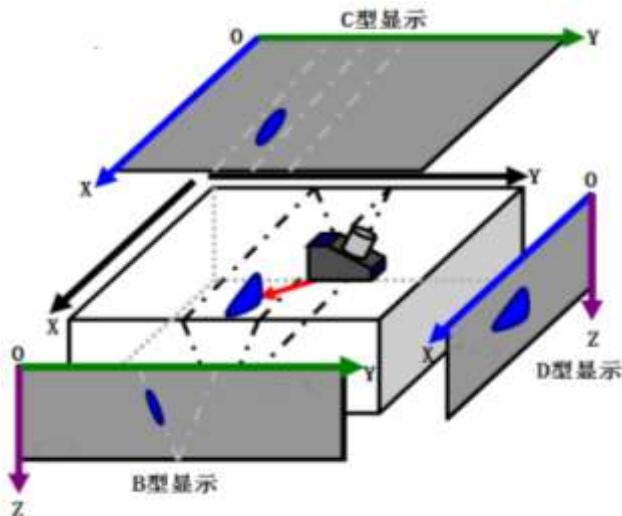


图 6 显示类型示意图

3.18

C型显示 C-display

在与工件扫查面平行的面所形成的声场图像，对于焊接接头，为X-0-Y平面投影图像，如图6所示，横坐标表示焊缝长度或扫查距离，纵坐标表示声束覆盖区域的尺寸，以不同颜色显示信号波幅。

3.19

D型显示 D-display

在与声束纵截面及工件扫查面均垂直的剖面所形成的声场图像。对于焊接接头，为X-0-Z平面投影图像，如图6所示，横坐标表示焊缝长度或扫查距离，纵坐标表示深度或声程，以不同颜色显示信号波幅。

3.20

S型显示 S-display

相控阵检测由扇扫描声束形成的扇形图像显示，如图7所示，图像中横坐标表示离开探头出射点的位置，纵坐标表示深度，沿扇面弧线方向的坐标表示角度，以不同颜色显示信号波幅。检测焊接接头时，S型显示为探头前方区域的纵截面内部状态。

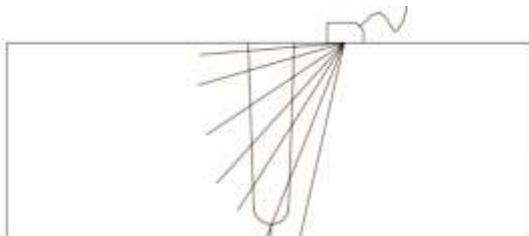


图 7 S型显示示意图

3.21

相关显示 relevant indication

由缺陷引起的显示。

3.22

非相关显示 non-relevant indication

由于工件结构（如焊缝余高或根部、工件的几何结构变化处）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、盖面焊、坡口形状的变化等引起的显示。

3.23

公称厚度 nominal thickness

检测对象名义厚度，不考虑材料制造偏差或加工减薄。

3.24

工件厚度 t base material thickness

- a) 对于平板对接接头，焊缝两侧母材厚度相等时，工件厚度 t 为母材公称厚度；焊缝两侧母材厚度不等时，工件厚度 t 为薄侧母材公称厚度。
- b) 对于插入式接管角接接头，工件厚度 t 为筒体（封头或母管）公称厚度。

3.25

参考灵敏度 reference sensitivity

将对比试块上参考反射体的回波高度或被检工件的底面回波高度调整到某一基准时的灵敏度。

3.26

基准灵敏度 evaluation sensitivity

在参考灵敏度基础上，考虑对比试块与被检工件之间因表面粗糙度不同、曲率不同、材质差异等因素进行调整后所得到的灵敏度。基准灵敏度主要用于工件检测和缺陷的评定。

3.27

扫查灵敏度 scanning sensitivity

在基准灵敏度基础上，根据表面状况、检测缺陷要求及探头类型等适当提高 dB 数（增益）进行实际检测的灵敏度。

4 一般要求

4.1 检测人员

- 4.1.1 从事超声检测及相控阵超声检测的人员的要求应符合 NB/T 47013.1 的有关规定。
- 4.1.2 从事超声检测及相控阵超声检测的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，应接受一定时间的有关奥氏体不锈钢对接接头材料特性、焊缝组织及声学特点、窄脉冲双晶聚焦探头的声场特性并经过专项训练，具备所需的技术能力和相应的检测经验。对检测中出现的问题能做出分析、判断和处理。
- 4.1.3 从事相控阵超声检测人员还应该具备熟悉扫查装置的装配及使用，熟悉设备操作软件及数据分析软件，能对采集的数据做出正确的分析、判断和处理。
- 4.1.4 从事相控阵超声检测人员还应该具备并掌握 DLA 和 DMA 相控阵探头的声场特性和声场建模等知识。

4.2 试块

4.2.1 标准试块

标准试块要求应符合 NB/T 47013. 3-2023 及 NB/T 47013. 15 标准要求。

4.2.2 专用对比试块

4.2.2.1 专用对比试块制作要求:

- a) 专用对比试块与被检工件的材料、外形尺寸和制造工艺相同或相似，（二者间声速偏差不超过 $\pm 1\%$ ，用 5MHz 探头测试的衰减系数相差不超过 $\pm 2\% \text{dB}/\text{m}$ ），制造工艺相同或相似。
- b) 专用对比试块的外形几何尺寸应在一定程度上能代表被检工件的特征，试块厚度应与被检工件厚度相对应。如果涉及不同工件厚度对接接头检测，试块厚度的选择应由较大工件厚度确定。
- c) 若作为工艺验证用途时，还应考虑被检工件中可能存在的缺陷类型、大小、位置和取向并设置相应的参考反射体。

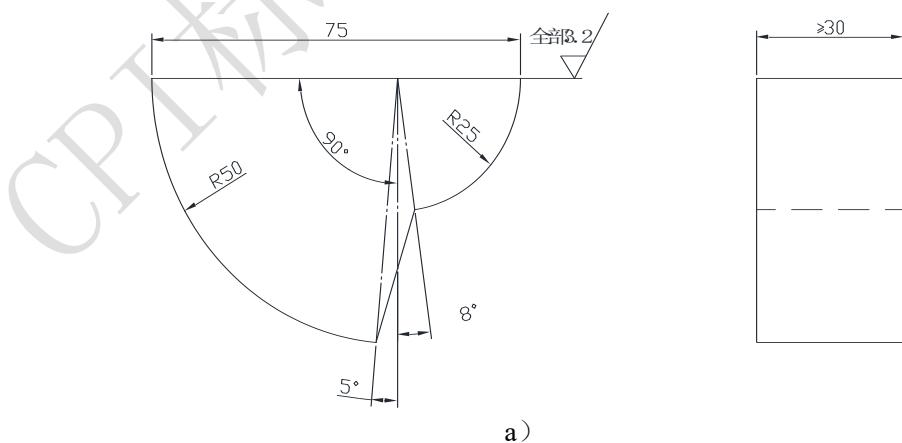
4.2.2.2 本文件所使用试块为与工件材料相关的对比试块 I 及与工件类型和工件材料相关的专用对比试块 II 和专用对比试块 III；如果能满足仪器和探头调节、灵敏设置及检测的要求，也可以采用其他形式（包括试块厚度）的等效专用对比试块。

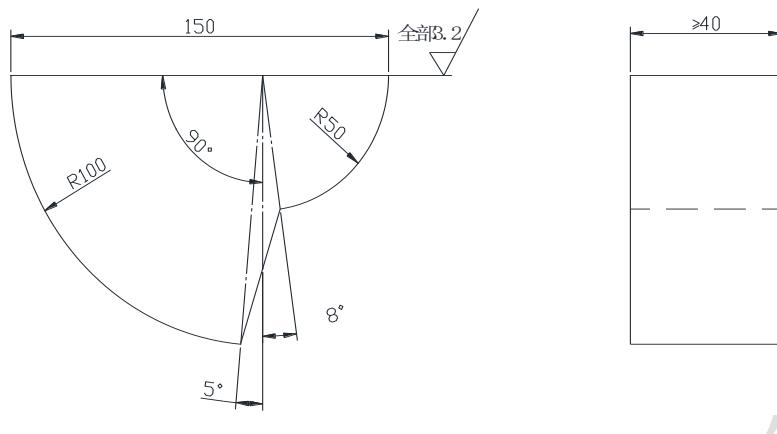
4.2.2.3 专用对比试块 I

4.2.2.3.1 主要用于测量工件声速、探头声束入射点（前沿）、折射角（需与专用对比试块 II 配合）等测量及检测声程范围调整，试块所用材料应与被检材料相同或相似。

4.2.2.3.2 当使用双晶纵波斜探头或聚焦纵波斜探头时，试块的半径（其中之一）应与探头在工件中的声束汇聚区范围或聚焦范围相近。

4.2.2.3.3 试块尺寸应符合图 8a) 和 b) 的规定，也可按 CSK-IA 试块或 GS 试块的形状进行设计制作。





b)

图 8 专用对比试块 I

4.2.2.4 专用对比试块 II

4.2.2.4.1 专用对比试块 II 主要用于纵向缺陷基准灵敏度校准, 以及探头声束入射点(前沿)和折射角的修正。

4.2.2.4.2 试块的材料应与被检工件材料相同或相似, 试块的中部设置一焊接接头, 该焊接接头的坡口型式应与被检焊接接头相同或相近, 并采用同样的焊接工艺制成。

4.2.2.4.3 试块上参考反射体的布置和数量原则上应根据被检工件厚度确定, 为便于检测校准, 不同深度的参考反射体可加工在不同的试块上或同一试块相对应的不同位置上。

4.2.2.4.4 试块的形状(对接接头示意)和尺寸如图 9(适用于工件厚度范围 10mm~110mm), 坡口上的参考反射体位置应根据实际焊缝确定。

4.2.2.4.5 试块上焊缝余高应去除至与母材齐平, 并应在试块两个面分别标记出焊缝融合线位置和焊缝中心线位置。

4.2.2.4.6 试块上设置了 4 个备用矩形槽, 其长度和深度如图示, 宽度不大于 1mm, 对于 V 形坡口的焊接接头, 可在底面只加工 1 个中心部位的矩形槽。

4.2.2.4.7 可根据实际检测需要在试块上添加其他参考反射体, 如 V 形槽等, 或采用其他形式的等效试块。

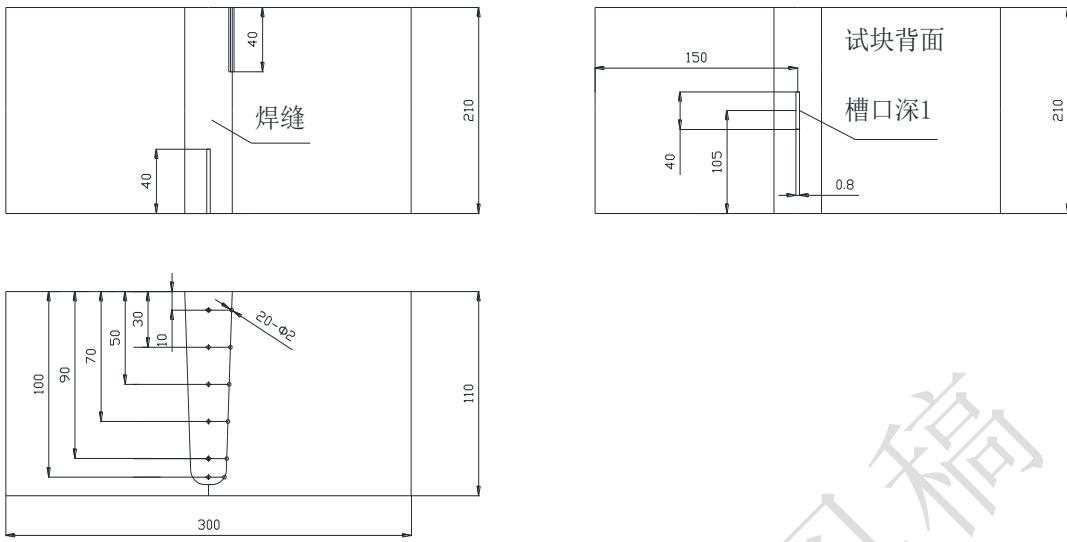


图 9 专用对比试块 II (110mm)

4.2.2.5 专用对比试块III

4.2.2.5.1 专用对比试块III主要用于横向缺陷基准灵敏度校准。

4.2.2.5.2 试块的材料应与被检工件材料相同或相似，试块的中部设置一焊接接头，该焊接接头的坡口型式应与被检焊接接头相同或相近，并采用同样的焊接工艺制成。

4.2.2.5.3 试块上参考反射体的布置和数量原则上应根据被检工件厚度确定，为便于检测校准，不同深度的参考反射体可加工在不同的试块上或同一试块相对应的不同位置上。

4.2.2.5.4 试块的形状(对接接头示意)和尺寸如图 10(适用于工件厚度范围 10mm~110mm)，坡口上的参考反射体位置应根据实际焊缝确定。

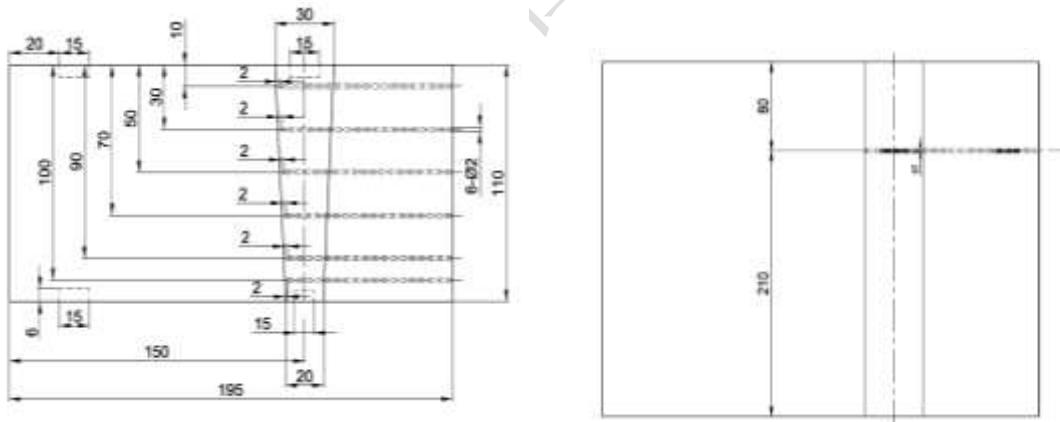


图 10 专用对比试块 III (110mm)

4.2.2.5.5 试块上焊缝余高应去除至与母材齐平，并应在试块两个面分别标记出焊缝融合线位置和焊缝中心线位置。

4.2.2.5.6 试块上横通孔通过焊缝区，但不应穿过一侧的焊缝融合线，一般在距焊缝融合线 1mm~2mm 停止。

4.2.2.5.7 试块上横通孔在母材区的长度由所使用的探头宽度、反射体的反射特性等决定，一般最小应不小于 25mm。

4.2.2.5.8 试块上设置了 4 个备用矩形槽，其长度和深度如图示，宽度不大 1mm，制作矩形槽时，其试块长度方向上的位置可适当移动。

4.2.2.5.9 试块上的参考反射体根据检测需要可采取其他布置型式，或采用其他形式的等效

试块。

4.2.3 模拟试块

4.2.3.1 模拟试块是指含模拟缺陷的试块，主要用于检测工艺验证。

4.2.3.2 对于工件厚度大于 40mm 的焊接接头，应制作模拟试块。

4.2.3.3 承压设备设计、制造或安装技术文件中明确要求的，应制作模拟试块。

4.2.3.4 模拟试块的材料和声学特性应与被检工件相同或相近（二者间声速偏差不超过 $\pm 1\%$ ，用 5MH 探头测试的衰减系数相差不超过 $\pm 2\% \text{dB/m}$ ）当采用直探头检测试块所使用原材料时，不得有大于或等于 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔当量直径的缺陷。

4.2.3.5 模拟试块的几何形状、厚度、表面条件等应与被检工件焊缝相同或相近。

4.2.3.6 对于焊接接头，其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制备。

4.2.3.7 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。

对于焊接接头，至少应包括纵向和横向缺陷，体积型和面积型缺陷，表面和埋藏缺陷，缺陷长度一般不大于相应承压设备合格质量等级规定的同厚度工件的最大允许缺陷尺寸，可由一块或多块同厚度范围试块组成。例：平板对接接头推荐的模拟试块形式和尺寸如图 11。

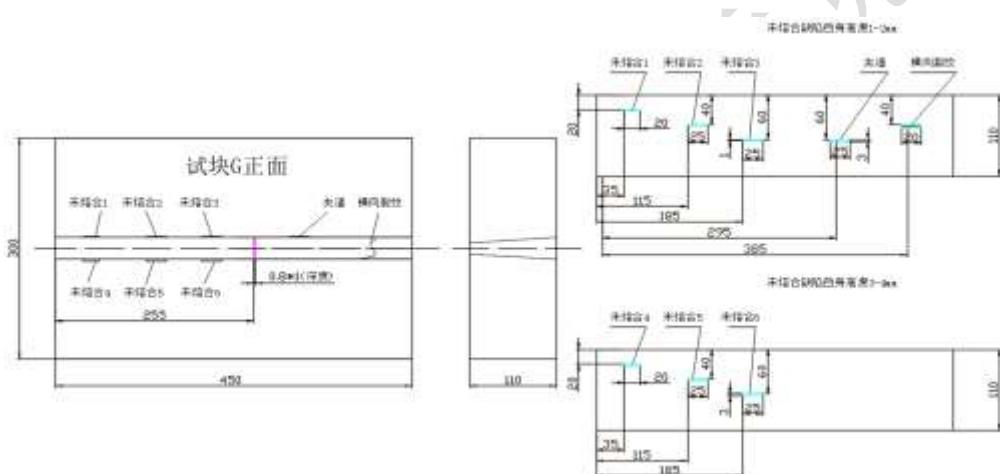


图 11 110mm 模拟试块部分缺陷（推荐）

4.2.3.8 模拟缺陷位置应考虑焊接接头具体形式，如单侧扫查时的验证要求等。

4.3 耦合剂

根据现场被检测工件表面状况选用适合的耦合剂，通常选用的耦合剂为水或工业浆糊。奥氏体型不锈钢或钛材上使用时耦合剂卤素（氯和氟）的含量不应大于 250mg/L；镍基合金上使用时耦合剂含硫量应不大于 250mg/L。

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，并在工艺文件确定的温度范围内稳定可靠。

4.4 检测时机

4.4.1 检测时机是在焊缝焊接后，且外观检查合格后方可进行超声检测或相控阵检测。

4.4.2 热成型零件中的焊接接头（如封头板拼接焊缝），应在零件完成恢复性能热处理之后再进行超声检测或相控阵检测。

4.5 检测一般程序

检测的一般程序为：

-
- a) 接收探伤委托单，查阅原始资料；
 - b) 待检工件结构分析；
 - c) 试块选择或制作；
 - d) 检测设备选择；
 - e) 检测设置和校准；
 - f) 编制或选择检测工艺；
 - g) 检测实施；
 - h) 检测数据评价、图像分析与缺陷评定；
 - i) 记录和报告。

4.6 环境与安全要求

检测场所、环境及安全防护应符合 NB/T47013.1 的规定。

5 承压设备奥氏体不锈钢焊接头相控阵超声检测方法和质量分级

5.1 适用范围

本章规定了工件厚度 80mm~110mm 的奥氏体不锈钢对接接头的相控阵超声检测方法和质量分级。10mm~80mm 的奥氏体不锈钢对接接头可参照 NB/T47013.15 中相关规定执行。

5.2 检测设备

5.2.1 仪器

检测仪器至少应具有多通道超声波发射、接收、放大、数据自动采集、记录、显示和分析功能；仪器应符合相应的产品标准规定，具有产品质量合格证明文件，合格证明文件中至少包括预热时间、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参数；仪器的电气性能和基本功能应满足 NB/T 47013.15《承压设备无损检测 第 15 部分：相控阵超声检测》附录（规范性）的要求，并按规格型号提供具有 ISO/IEC 17025 认可的第三方实验室出具的证明文件；检测仪器的数据记录传输格式宜采用 NB/T 47013.15《承压设备无损检测 第 15 部分：相控阵超声检测》附录 B（资料性）中规定的格式。

5.2.2 探头

探头应符合其相应的产品标准规定，具有产品质量合格证明文件，合格证明文件中至少包括探头尺寸、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、脉冲回波灵敏度等主要参数；探头的性能标应满足 NB/T 47013.15《承压设备无损检测 第 15 部分：相控阵超声检测》附录 D（规范性）的要求，并按规格型号提供具有 ISO/IEC 17025 认可的第三方实验室出具的证明文件。

5.2.3 检测仪器、探头及其组合性能的要求

5.2.3.1 检测仪器和探头的组合性能包括垂直线性、水平线性、衰减器精度、组合频率，以及扇扫成像横向分辨力、纵向分辨力和扇扫角度分辨力，组合性能的测试方法及合格要求见表 2。

表2 组合性能的测试方法及合格要求

序号	项目	测试方法标准	要求
1	垂直线性	JB/T 9214	偏差不大于 5%
2	水平线性	GB/T 29302	偏差不大于 1%
3	衰减器精度	JJF 1338	任意连续 20dB, 衰减器累积误差不大于 1dB; 任意连续 60dB, 衰减器累积误差不大于 2dB
4	组合频率	JB/T 10062	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 $\pm 10\%$
5	扇扫成像横向分辨力和纵向分辨力	JJF 1338	采用频率为 5MHz 的相控阵超声探头时, 均不大于 2mm
6	扇扫角度范围测量偏差	JJF 1338	采用频率为 5MHz 的相控阵超声探头时, 不超过 $\pm 3^\circ$
7	扇扫角度分辨力	JJF 138	采用频率为 5MHz 相控阵超声探头时, 不大于 5°

5.2.3.2 发生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、探头和连接线缆在修或更换主要部件后;
- c) 检测人员有怀疑时。

5.2.4 扫查装置

5.2.4.1 为实现机械扫查, 并确保探头运动轨迹与参考线保持一致, 宜采用扫查装置。

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

5.2.4.3 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。

5.2.4.4 导向部分应能在扫查时使探头运动方向与设定方向保持一致。

5.2.4.5 驱动部分可以采用马达或人工驱动。

5.2.4.6 扫查装置中的位置传感器, 其位置分辨力应符合本文件相关章节的工艺要求。

5.2.5 检测设备的特定功能要求

检测各类对象时, 检测设备应具备满足 80mm~110mm 奥氏体不锈钢对接接头检测所要求的功能。

5.2.6 检测设备的校准、核查、运行核查和检查

5.2.6.1 校准、核查、运行核查和检查一般原则

校准、核查、运行核查和检查一般宜采用标准试块和对比试块进行, 操作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; 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。

5.2.6.2 校准或核查

每年至少对检测仪器和探头组合性能中的垂直线性、水平线性、衰减器精度、组合频率、扇扫成像横向分辨力和纵分辨力以及扇扫角度范围和扇扫角度分辨力, 进行一次校准并记录, 测试要求应满足 5.2.3.1 的规定。

5.2.6.3 运行核查

5.2.6.3.1 每隔 6 个月至少对仪器和探头组合性能中垂直线性、水平线性进行一次运行核查并记录, 测试要求应满足 5.2.3.1 的规定。

5.2.6.3.2 每隔 1 个月至少对阵元有效性进行一次运行核查, 相控阵探头允许存在失效阵元, 但失效阵元数量不得超过探头阵元总数的 1/4, 且不允许相邻阵元连续失效。

5.2.6.4 检查

5.2.6.4.1 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。

5.2.6.4.2 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 300mm, 将检测仪器所显示的位移和实际位移进行比较, 其误差应小于 1%。

5.3 检测区域及表面的制备

5.3.1 检测区域高度为工件厚度。

5.3.2 检测区域宽度为焊缝本身宽度加上两侧各 10mm 的范围。

5.3.3 探头移动区应清除焊接飞溅、油垢及其他杂质, 一般应进行打磨。检测表面应平整, 便于探头的移动, 其表面粗糙度 R_a 值应不大于 $12.5 \mu m$ 。

5.3.4 焊接接头余高磨平, 将余高打磨到与邻近母材平齐。

5.3.5 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, 应画出分段标识。

5.3.6 参考线

5.3.6.1 用于扫查时沿步进方向行走的预定线路。

5.3.6.2 检测前, 应在扫查面上设定参考线以便进行纵向垂直扫查, 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; 扫查时, 应保持探头位置与设定参考线位置的偏差不大于 5%。

5.4 检测工艺

5.4.1 工艺文件

5.4.1.1 工艺规程除满足 NB/T 47013.1 的要求外, 还应规定表 3 和相关内容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3 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	被检工件的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	检测面要求
3	检测技术(线扫描、扇扫描、直接接触法、液浸法及波形等)
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)
9	扫描类型(线扫描、扇扫描)
10	耦合剂类型
11	校准(试块及校准方法)
12	扫查方向及扫查范围
13	扫查方式(纵向垂直扫查、纵向平行扫查或纵向倾斜扫查等)
14	附加检测(如需要)及要求
15	自动报警和/或记录装置(用到时)
16	人员资格要求、检测报告要求
17	检测数据的分析和解释
18	验收级别(质量等级)
19	焊接方法、焊接工艺(如坡口型式、角度等)

5.4.1.2 检测前应结合被检工件编制相控阵超声检测操作指导书，至少应包含以下内容：

- a) 操作指导书编号；
- b) 依据的工艺文件及其版本号；
- c) 检测技术要求：执行标准、检测时机、检测比例、合格级别和检测前的表面准备、检测技术等级、基准灵敏度、参考线位置、扫查速度、角度步进等；
- 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：检测设备名称和规格型号，探头型号、晶片参数、楔块参数、耦合剂、对比试块、模拟试块、扫查装置，设备性能检查的项目、时机和性能指标；
- f) 检测工艺参数：探头配置、扫描类型、使用波形、激发晶片个数，起始晶片位置，角度范围、聚焦深度、探头位置等；
- g) 横向缺陷的补充检测方法；
- h) 检测示意图；
- i) 编制者（级别）和审核者（级别）；
- j) 编制日期。

5.4.2 工艺验证

首次制定并采用的操作指导书应进行工艺验证，工艺验证应在与被检工件一致的模拟试块上进行。工艺验证结果应能清楚地显示模拟试块中的模拟缺陷且所测量的缺陷尺寸应接近实际缺陷尺寸。

5.4.3 一般要求

5.4.3.1 母材的检测

对斜入射探头扫查经过的母材区域应采用纵波直入射法进行检测，应采用直探头（或相控阵探头）进行检测，以便检测是否有影响斜探头检测结果的分层或其他类型缺陷存在。该项检测仅做记录，不属于对母材的验收检测。检测的要点如下：

- a) 扫查灵敏度：调节一次声程（深度）最大处附近的Φ5mm 平底孔回波高度至荧光屏满刻度 80%；
- b) 凡缺陷信号幅度扫查灵敏度不超过显示屏满刻度 40% 的部位，应在工件表面做出标记，并予以记录。

5.4.3.2 扫查

5.4.3.2.1 应将焊接接头余高打磨到与邻近母材平齐，检测要求如图 12 和表 4；

5.4.3.2.2 检测时应保证相控阵声束对检测实现两次全覆盖，并应尽可能使其中两次覆盖的声束来自大致互相垂直的方向；

5.4.3.2.3 于焊缝及热影响区还应增加纵波直入射法进行检测并实现一次全覆盖；

5.4.3.2.4 对进行双面双侧检测的焊接接头。若锯齿形扫查时发现缺陷，则应在缺陷位置处采用扇扫描+纵向垂直扫查进行数据采集和记录。

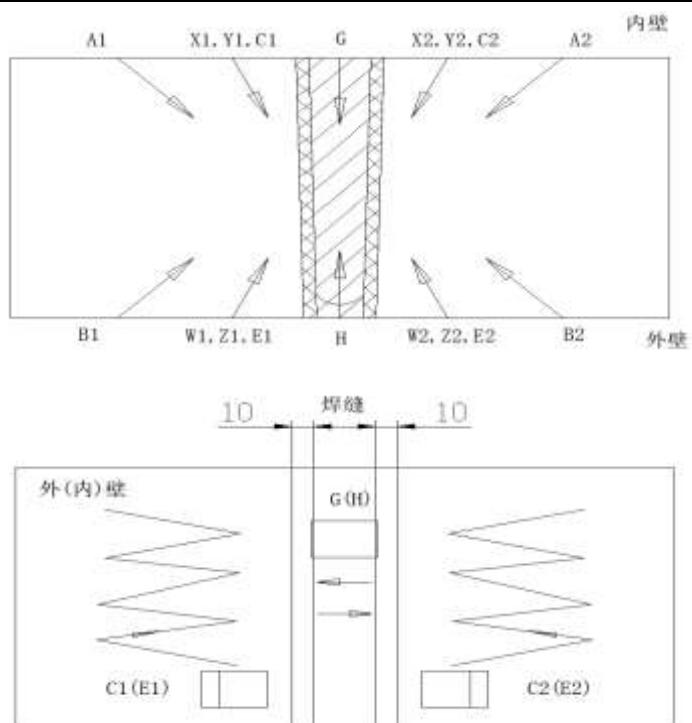


图 12 平板对接接头探头位示意图

表 4 平板对接头相控阵超声检测的具体要求

工件厚度 t/mm	纵向缺陷检测				横向缺陷检测	
	斜入射扫查			直入射扇 扫或线扫	斜入射扫查	
	检测面	扫描方式	扫描设置 ^{a, b}	探头位置	扫描方式及置	探头位置
$80 < t \leq 110$	双面双侧	扇扫	一次波, 每侧 ≥ 3 探头位 置;	双面 (G 和 H)	扇扫	(X 和 Y) 和 (W 和 Z)

a 当使用同一探头用不同激发孔径或同一激发孔径不同角度范围进行 2 组或 2 组以上扇扫检测时, 也可视为 2 种或 2 种以上探头位
置。
b 如仍不能实现检测区域的全覆盖, 应增加探头位置检测。
c 10~80mm 参照 47013.15。

5.4.4 横向缺检测

5.4.4.1 奥氏体不锈钢及镍合金焊接接头横向缺陷的超声检测一般应在双面进行检测。

5.4.4.2 去除余高的焊缝, 探头应在焊接接头及热影响区上做两个方向的平行扫查和与焊接接头中心线呈 $0^\circ \sim 45^\circ$ 斜平行扫查, 见图 13。

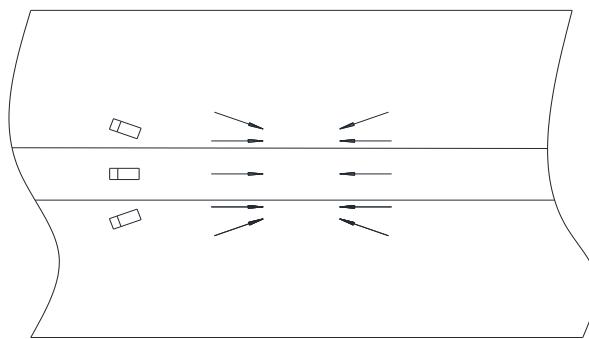


图 13 余高磨平后扫查示意图

5.4.4 延迟法则

5.4.4.1 根据检测对象和现场条件选择扫描类型确定延迟法则。聚焦法则应明确涉及的具体参数，如：入射角度、距离参数、声束参数、工件厚度及分层厚度等。

5.4.4.2 用 2 种或 2 种以上探头位置对焊接接头进行厚度分区扫查时，各分区应在厚度方向依次向上覆盖相邻分区深度范围的 25%（焊接接头中心线处）。表 5 给出了聚焦设置的推荐选择。

表 5 聚焦设置推荐

检测厚度 t/mm	扇扫角度范围	聚焦深度/ mm
10~3	40° ~70°	10~30
30~70	40° ~60°	40~70
70~110	35° ~60°	70~100

注：扇扫角度范围可选择楔块制造商推荐的角度范围。

5.4.4.3 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（如能达到），但应注意聚焦区以外声场劣化问题。

5.4.5 焊缝结构仿真设置

仪器的软件仿真功能模块中，根据工件的实际结构参数设置。

5.4.6 检测系统的调试

5.4.6.1 相控阵探头的选择

5.4.6.1.1 探头及楔块设置包括探头楔块参数设置及晶片参数设置，楔块设置根据研制的专用楔块声学参数设置；探头设置依据不锈钢焊缝检测要求，选用适当的相控阵探头，设定晶片参数，确保对检测区域的覆盖和良好的检测效果。

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

5.4.6.1.3 相控阵探头应与检测面紧密接触。探头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，修磨时重新测量楔块几何尺寸，同时考虑对声束的影响。

5.4.6.2 灵敏度设置

5.4.6.2.1 可选用 TCG 和 DAC 两种方式进行灵敏度设置。

5.4.6.2.2 按所用的相控阵检测仪和相控阵探头在所选择的对比块上进行灵敏度设置，校准的深度（或声程）范围至少包括检测拟覆盖的深度（声程）范围，校准所使用的参照反射体一般不少于 3 个不同深度点。

5.4.6.2.3 在焊缝两侧进行检测时，用焊缝中心的横孔制作距离-波幅曲线确定灵敏度和评定。
5.4.6.2.4 扫查灵敏度确定：扫查灵敏度应使检测范围内最大声程处反射体回波高度达到 20% 以上，信噪比应达到 2:1。

5.4.6.3 TCG 或 DAC 曲线灵敏度选择

5.4.6.3.1 距离-波幅曲线灵敏度按表 6 选择：

表 6 距离-波幅曲线灵敏度

工件厚度 t/mm	$80 < t \leq 110$
判废线	$\phi 2 \times 40 + 6\text{dB}$
定量线	$\phi 2 \times 40$
评定线	$\phi 2 \times 40 - 6\text{dB}$

5.4.6.3.2 横向缺陷检测时，应将各线灵敏度均提高 6dB。

5.4.6.3.3 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，并根据检测结果对检测灵敏度进行补偿，补偿量应计入 TCG 或 DAC 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。

5.4.7 扫查步进的设置

5.4.7.1 扫查步进是指扫查过程中相邻两个 A 扫描信号间沿扫查方向的空间间隔。检测时，除非特别规定，须采用带位置传感器的机械扫查方式，并应设定扫查步进值。扫查步进主要与被检工件厚度有关，应符合表 7 的规定。

表 7 扫查步进值的设置

工件厚度 t/mm	扫查步进最大值 $\Delta X_{\max}/\text{mm}$
$80 < t \leq 110$	1.5

5.4.7.2 采用线扫描时，应设定阵元步进值；采用扇扫描时，应设定角度步进值，其值最大为 1° ，检测技术要求较高时，其值应设定为小于等于 0.5° 。

5.4.8 覆盖范围

纵向垂直扫查时，分段扫查应覆盖至少 50mm。

5.4.9 扫查

扫查时应保证实际扫查路径与拟扫查路径的偏差不超过探头前端距的 5%，实际扫查速度应小于或等于最大扫查速度 v_{\max} ，同时须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：

$$v_{\max} = \frac{\text{PRF}}{N \times M} \Delta X \quad (2)$$

式中：

v_{\max} ——最大扫查速度， mm/s ；

PRF——脉冲重复频率，Hz；

$\text{PRF} < c/2S$ ，其中：

c ——声速， mm/s ；

S ——最大测声程，mm。

N ——设置的信号平均次数；

M ——设置的电子扫描步进数量；

ΔX ——设置的扫查步进值，mm。

5.4.10 工件表面温度要求

采用常规探头耦合剂时，被检工件的表面温度应控制在 $0^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，若温度超过 50°C 或低于 0°C ，可采用特殊探头或耦合剂；检测系统设置和校准与实际检测温度之差应控制在 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ 之内。

5.4.11 仪器和探头系统的复核

5.4.11.1 发生以下情况时应对系统进行复核：

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

5.4.11.2 扫描量程的复核

如果任意一点在扫描线上的偏移量超过扫描线该点读数的 10% 或全扫描量程的 5%，则扫描量程应重新调整，并对上一次复核以来所有的检测部位进行复检。

5.4.11.3 扫查灵敏度的复核

复核时，在检测范围内如发现扫查灵敏度或距离-波幅曲线上任一深度人工反射体回波幅度下降 2dB，则应对上一次复核以来所有的检测部位进行复检；如回波幅度上升 2dB，则应对所有的记录信号进行重新评定。

5.5 图谱编号规则

5.5.1 相控阵超声图谱必须有唯一性编号，与同时归档的检测报告和原始记录相应的编号一致。

5.5.2 相控阵超声图谱编号规则如下：

5.5.2.1 图谱编号编写方法如图 14 所示：

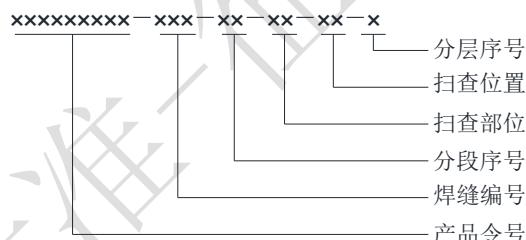


图 14 图谱编号示例

5.5.2.2 对于返修部位的复探应包括全部返修部位。R 代表返修，K 代表扩探，n 代表返修（扩探）次数。其他需要标注的情况，应在图谱编号的末尾标注区分，并在记录或报告上说明。

5.6 检测结果的评定和质量等级分类

5.6.1 检测数据的有效性评价

5.6.1.1 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焊缝长度的要求；
- c) 数据丢失量不得超过整个扫查的 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%。

5.6.1.2 若数据无效，应纠正后重新进行扫查。

5.6.2 缺陷判定

超过评定线的信号应注意其是否具有裂纹、未熔合、未焊透等类型缺陷特征。如有怀疑，

应采用手动相控阵或脉冲反射法超声做进一步检测，采取多种扫查方式、观察动态波形并结合结构工艺特征做判定。如对波形不能判断时，应辅以其他检测方法做综合判定。

5.6.3 缺陷的评定

5.6.3.1 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，可采用各种聚焦方法提高定量精度。

5.6.3.2 缺陷深度

以获得缺陷的最大反射波幅的位置为缺陷深度

5.6.3.3 缺陷指示长度

- a) 结合 A 扫在 D 扫描或 C 扫描试板图上进行缺陷指示长度测定。
- b) 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。
- c) 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 法测量其指示长度和间距。
- d) 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。

5.6.3.4 缺陷自身高度

- a) 结合 A 扫在 S 扫描或 D 扫描试板图上进行缺陷指示长度测定。
- b) 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。
- c) 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小端点的位置。
- d) 以任一点测定的最大值作为该缺陷的自身高度。

5.6.3.5 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，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，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位缺陷波幅（修改内容）；
- c) 缺陷指示长度：两缺陷在轴投影上的前、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）。

5.6.4 质量分级

5.6.4.1 焊接接头不允许存在裂纹、未熔合和未焊透等缺陷。

5.6.4.2 评定线以下的缺陷均评为 I 级。

5.6.4.3 焊接接头质量分级按表 8 的规定执行。

表 8 奥氏体不锈钢对接接头相控阵超声检测质量分级

等级	工件厚度 t/mm	反射波幅所在区域	允许的单个缺陷指示长度/mm
I	80~110	I	≤40
		II	最大为 26mm
II	80~110	I	≤60
		II	最大不超过 40
III	80~110	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

5.7 检测记录、报告和资料存档

检测记录、报告和资料存档，按 NB/T47013 标准执行。

6 承压设备奥氏体不锈钢焊接接头 A 型脉冲反射法超声检测

6.1 适用范围

本章规定了工件厚度 100mm~110mm 的奥氏体不锈钢对接接头的 A 型脉冲反射法超声检测方法和质量分级。

6mm~100mm 的奥氏体不锈钢对接接头可参照 NB/T47013.3 相关规定执行。

6.2 检测设备和材料

6.2.1 仪器和探头产品质量综合证明

超声检测仪器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）以及接收电路频带等主要性能参数；探头应给出中心频率、带宽、电阻抗或静电容、相对脉冲回波灵敏度以及斜探声束性能（包括探头前沿距离（入射点）、K 值（折射角 β）等）等主要参数。

6.2.2 检测仪器、探头和组合性能

6.2.2.1 检测仪器

采用 A 型脉冲反射式超声检测仪，其工作频率按-3dB 测量应至少包括 0.5MHz~10MHz 频率范围，超声仪器各性能的测试条件和指标要求应满足 NB/T 47013.3《承压设备无损检测第 3 部分：超声检测》附录 A 的要求，并提供证明文件，测试方法按 GB/T 27664.1 的规定。

6.2.2.2 探头

推荐采用双晶纵波斜探头、聚焦纵波斜探头、窄脉冲纵波单晶斜探头等。

6.2.2.3 仪器和探头的组合性能

6.2.2.3.1 仪器和探头的组合性能包括水平线性、垂直线性、组合须率、灵敏度余量、盲区（仅限直探头）和远场分辨力。

6.2.2.3.2 声束通过母材和通过焊接接头分别测绘的两条距离-波幅曲线一般宜小于 10dB，扫查灵敏度应使检测范围内最大声程处反射体回波高度达到 20%以上，信噪比应到 2:1。

6.2.2.3.3 选择的检测仪应与选用的探头相匹配，以便获得较佳的灵敏度和信噪比。扫查灵敏

度应使检测范围内最大声程处反射体回波高度达到 20%以上，信噪比应至少在 6dB 以上。

6.2.2.3.3 以下情况时应测定仪器和探头的组合性能：

- a) 新购置的超声检测仪器和（或）探头；
- b) 仪器和探头在维修或更换主要部件后；
- c) 检测人员有怀疑时。

6.2.2.3.4 水平线性偏差不大于 1%，垂直线性偏差不大于 5%。

6.2.2.3.5 仪器和探头的组合频率与探头标称频率之间偏差应不大于士 10%。

6.2.3 超声检测设备和器材的校准、核查、运行核查和检查的要求

6.2.3.1 校准核查和运行核查应在标准试块上进行，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。

6.2.3.2 校准或核查

6.2.3.2.1 每年至少对超声仪器和探头组合性能中的水平线性、垂直线性、组合频率、盲区（仅限直探头）、灵敏度余量、分辨力以及仪器的衰减器精度，进行一次校准并记录，测试要求应满足 5.2.3 的规定。

6.2.3.2.2 每年至少对标准试块与对比试块的表面腐蚀与机械损伤，进行一次查。

6.2.3.3 运行核查

6.2.3.3.1 模拟超声检测仪每 3 个月数字超声检测仪每 6 个月至少对仪器和探头组合性能中的水平线性和垂直线性，进行一次运行核查并记录，测试要求应满足 5.2.3 的规定。

6.2.3.3.2 每 3 月至少对盲区（仅限直探头）灵敏度余量和分辨力进行一次运行核查并记录，测试要求应满足 5.2.3 的规定。

6.2.3.4 检查

6.2.3.4.1 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否正常。

6.2.3.4.2 使用斜探头时，检前应测定入射点（前沿距离）和折射角。

6.2.3.5 校准、运行核查和检查时的注意事项

校准、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上。

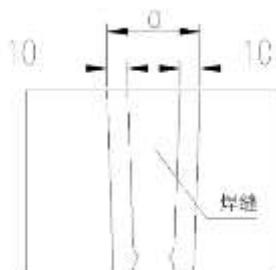
6.3 检测区域及面的制备

6.3.1 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。

6.3.2 焊接接头检测区宽度应是焊缝本身加上焊缝熔合线两侧各 10mm 确定。U 型坡口对接接头检测区示意见图 15。

6.3.3 对接接头检测区厚度应为工件厚度。

6.3.4 超声检测应覆盖整个检测区。若增加检测探头数量或增加检测面（侧）还不能完全覆盖，应增加辅助检测，包括用其他无损检测方法。



注：a 表示焊接接头检测区宽度。

图 15 检测区示意

6.3.5 检测面准备

6.3.5.1 探头移动区宽

探头移动区 N 应满足式 3

$$N \geq 1.5Kt \quad (3)$$

式 3 中:

t——工件厚度, mm

K——即 $\tan \beta$, β 为探头折射角

6.3.5.2 检测面应清除油漆、焊接飞溅、铁屑、油及其他异物, 以免影响声波耦合和缺陷判断。检测面应平整, 检测面与探头楔块底面或保护膜间的间隙不应大于 0.5mm, 其表面粗糙度 Ra 值应小或等于 $12.5 \mu m$ 。检测面一般应进行打磨。

6.5.3 去除余高的焊缝, 应将余高打磨到与邻近母材平齐。

6.4 检测工艺

6.4.1 检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书。

6.4.1.1 工艺规程除满足 NB/T47013.1 的要求外, 还应规定表 9 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 9 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	工件形状包括规格、材料等
2	检测面要求
3	检测技术(直探头检测、斜探头检测、直接接触法、液浸法等)
4	探头折射角及在工件中的波形(横波、纵波); 探头标称频率、晶片尺寸和晶片形状
5	检测仪器类型
6	耦合剂类型
7	校准(试块及校准方法)
8	扫查方向及扫查范围
9	扫查方式(手动或自动)
10	缺陷定量方法
11	计算机数据采集(用到时); 自动报警和/或自动记录装置(用到时)
12	人员资格要求; 检测报告要求
13	焊接接头类型(奥氏体型不锈钢焊接接头、奥氏体焊接接头、奥氏体-铁素体型不锈钢焊接接头、异种钢焊接接头、镍基合金焊接接头等)
14	探头类型[横波斜探头、纵波斜探头(双晶纵波斜探头、聚焦纵波斜探头、纵波单斜探头)等]
15	仪器探头组合性能

6.4.1.2 应根据工艺规程的内容以及被检工件的检测要求编制操作指导书。其内容除满足 NB/T47013.1 的要求外, 至少还应包括:

- a) 检测技术要求: 检测技术(直探头检测、斜探头检测、直接接触法、液浸法等)和检测波形等;
- b) 检测对象: 承压设备类别, 检测对象的名称、规格、材质和热处理状态、检测部位等;
- c) 检测设备器材: 仪器型号、探头规格、耦合剂、试块种类, 仪器和探头性能检测的项目、时机和性能指标等;
- d) 检测工艺相关技术参数: 扫查方向及扫查范围、缺陷定量方法、检测记录和评定要求、

检测示意图等。

6.4.2 操作指导书在首次应用前应进行工艺验证，验证方式可在相关对比试块上进行，验证内容包括检测范围内灵敏度、信噪比等是否满足检测要求。

6.4.3 一般要求

6.4.3.1 母材的检测

对于斜探头扫查声束通过的母材区域，应先用直探头检测，以便检测是否有影响斜探头检测结果的分层或其他类型缺陷存在。该项检测仅做记录，不属于对母材的验收检测。母材检测的要点如下：

- a) 扫查灵敏度：将无缺陷处第二次底波调节为显示屏满刻度的 100%；
- b) 凡缺陷信号幅度超过显示屏满刻度 20% 的部位，应在工件表面做出标记，并予以记录。

6.4.3.2 探头

6.4.3.2.1 对于用于工件厚度 6mm~40mm 焊接接头坡口侧缺陷检测时，可使用横波斜探头在坡口缺陷同侧进行检测；或者使用横波斜探头检测工件厚度 6mm~10mm 焊接接头时，应根据实际工件厚度和材质选择探头的标称频率，一般应在 1MHz~5MHz 范围内，探头折射角根据实际检测的焊缝坡口角度等确定。

6.4.3.2.2 对于工件厚度为 6mm~110mm 的焊接接头全体积检测：

推荐使用双晶纵波斜探头进行检测，也可以使用聚焦纵波斜探头、窄脉冲纵波单斜探头等进行检测。

探头标称频率应在 1MHz~5MHz 范围内。

探头折射角（在所检测工件中）应根据焊接接头中柱状晶结晶方向、工件厚度、分区检测厚度范围等进行选择；聚焦纵波斜探头适用的厚度或厚度分区范围、折射角、标称频率、聚焦深度等可按表 10 进行选取；窄脉冲纵波单斜探头的折射角、标称频率可按表 10 进行选取。

使用双晶纵波斜探头时，应根据声束汇聚区深度和检测深度范围选择探头。当壁厚较厚时，可选用多个不同汇聚区和频率探头进行厚度分区检测，各分区范围应相互覆盖不低于 20%。表 10 给出了不同检测深度下双晶纵波斜探头折射角（K 值）和探头声束汇聚深度的推荐选择。

表 10 双晶纵波斜或聚焦纵波斜探头选择（推荐）

工件厚度 t 或厚度分区范围/mm	探头折射角（K 值）	探头标称频率 MHz	汇聚区深度/mm
6~20	60° ~70° (1.7~2.75)	2~5	6~15
20~40	45° ~63° (1~2)	2~2.5	15~30
40~80	37° ~50° (0.75~1.2)	1~2.5	30~60
80~110	35° ~45° (0.7~1)	1~2	40~90

6.4.3.3 奥氏体型不锈钢及镍基合金焊接接头超声检测的具体要求参照 NB/T 47013.3 执行。

6.4.3.4 距离-波幅曲线

6.4.3.4.1 距离-波幅曲线由选定的探头、仪器组合在对比试块上实测数据绘制。在焊缝两侧进行检测时，用焊缝中心的横孔制作距离-波幅曲线确定灵敏度和评定；只在焊缝单侧检测时，应使声束应通过焊缝金属利用熔合区横孔制作距离一波幅曲线确定灵敏度和评定。

6.4.3.4.2 评定线至定量线以下区域为 I 区；定量线至判废线以下区域为 II 区；判废线及以

上区域为III区。判废线（RL）、定量线（SL）和评定线（EL）的灵敏度见表 11。

表 11 距离-波幅曲线灵敏度

工件厚度 t/mm	$80 < t \leq 110$
判废线	$\Phi 2\text{mm}+6\text{dB}$
定量线	$\Phi 2\text{mm}$
评定线	$\Phi 2\text{mm}-6\text{dB}$

6.4.3.4.3 对横向缺陷进行检测和评定时，应将各线灵敏度均提高 6dB。

6.4.3.4.4 为比较焊接接头组织与母材的差异，可使声束只经过母材区域，利用熔合区横孔测另一条距离-波幅曲线图 16 (a) 线。

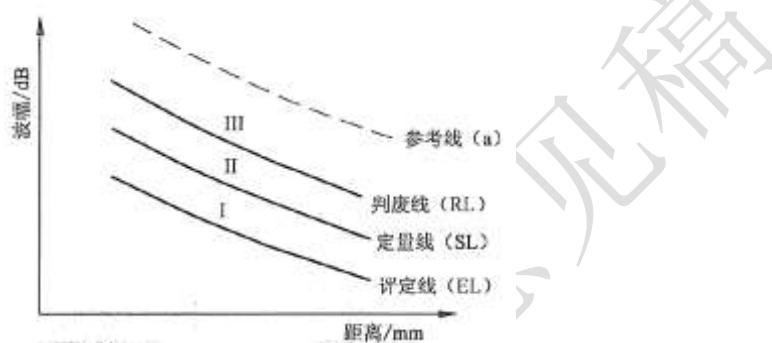


图 16 距离-波幅曲线示意图

6.4.3.5 扫查

6.4.3.5.1 扫查覆盖

为确保检测时超声声束能扫查到工件的整个被检区域，探头的每次扫查覆盖应大于探头直径或宽度的 15%。

6.4.3.5.2 探头的移动速度探头的扫查速度一般不应超过（扫查速度应不超过）150mm/s。当采用自动报警装置扫查时，扫查速度应通过对比试验进行确定。

6.4.3.5.3 在焊接接头的双面双侧实施一次波法(直射法)检测，具体要求应满足 NB/T 47013.3。

6.4.3.6 扫查方法

6.4.3.6.1 纵向缺陷检测

a) 为检测纵向缺陷，斜探头应在垂直于焊缝中心线放置在检测面上，做锯齿型扫查，见图 17。探头前后移动的距离应保证扫查到全部焊接接头体积。在保持探头垂直焊缝作前后移动的同时，扫查时还应作 $10^\circ \sim 15^\circ$ 的左右转动。如不能转动，应适当增加探头声束的覆盖区。

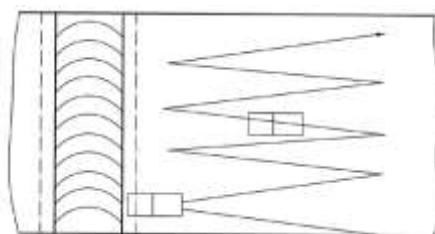


图 17: 锯齿型扫查

b) 为确定缺陷位置、方向、形状，观察动态波形和区分缺陷信号或伪缺陷信号，可

采用前后、左右、转角、环绕等四种探头基本扫查方式，见图 18。也可使用其他类型探头进行辅助检测。

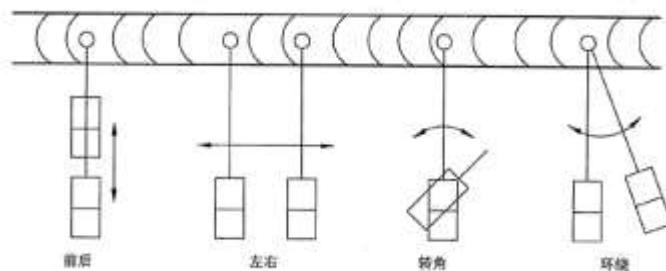


图 18 四种基本扫查方法

6.4.3.6.2 横向缺陷检测

6.4.3.6.2.1 奥氏体不锈钢及镍合金焊接接头横向缺陷的超声检测一般应在双面进行检测。

6.4.3.6.2.2 去除余高的焊缝，探头应在焊接接头及热影响区上做两个方向的平行扫查和与焊接接头中心线呈 $0^\circ \sim 45^\circ$ 斜平行扫查，见图 19。

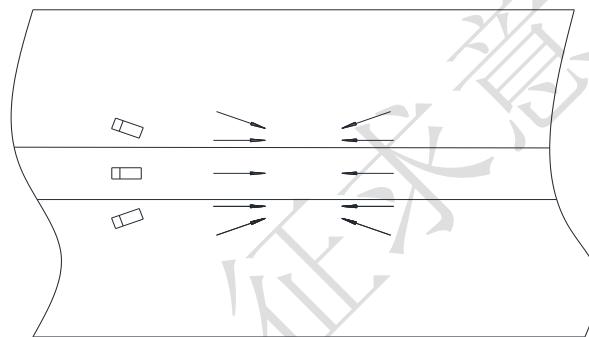


图 19 余高磨平后扫查示意图

6.4.3.6.3 直探头扫查时，应确保超声波束能扫查到焊接接头的整个被检区域。

6.4.4 仪器和探头系统的复核

6.4.4.1 发生以下情况时应对系统进行复核：

- a) 探头、耦合剂和仪器设置参数发生改变时；
- b) 怀疑扫描量程或扫查灵敏度有变化时；
- c) 连续工作 4h 以上时；
- d) 工作结束时。

6.4.4.2 扫描量程的复核

如果任意一点在扫描线上的偏移量超过扫描线该点读数的 10% 或全扫描量程的 5%，则扫描量程应重新调整，并对上一次复核以来所有的检测部位进行复检。

6.4.4.3 扫查灵敏度的复核

复核时，在检测范围内如发现扫查灵敏度距离-波幅曲线上任一深度人工反射体回波幅度与校准时相比下降超过 2dB，则应对上一次复核以来所有的检测部位进行复检；如回波幅度上升 2dB，则应对所有的记录信号进行重新评定。

6.5 检测结果的评定和质量等级分类

6.5.1 缺陷定量

6.5.1.1 对缺陷波幅达到或超过评定线的缺陷，应确定其位置、波幅和指示长度等。

6.5.1.2 缺陷位置测定应以获得缺陷最大反射波幅的位置为准。

6.5.1.3 缺陷最大反射波幅的测定方法是将移动探头至缺陷出现最大反射波信号位置，测定波幅的大小，并确定它在距离-波幅曲线中的区域。

6.5.1.4 缺陷指示长度的测定按 NB/T 47013.3 进行。

6.5.2 缺陷评定

6.5.2.1 超过评定线的信号应注意其是否具有裂纹、未熔合、未焊透等类型缺陷征，如有怀疑时，应采取改变探头折射角、增加检测面、检查动态波形并结合结构工艺特征作判定，如对波形不能判断时，应辅以其他检测方法作综合判定。

6.5.2.2 沿缺陷长度方向相邻的两缺陷，其长度方向间距小于其中较小的缺陷长度，且两缺陷在与缺陷长度相垂直方向的间距小于 5mm 时，应作为一条缺陷处理，以两缺陷长度之间之和作为其指示长度（间距计入）。如果两缺陷在长度方向投影有重叠，则以两缺陷在长度方向上投影的左、右端点间距离作为其指示长度。

6.5.3 质量分级

6.5.3.1 焊接接头不允许存在裂纹、未熔合和未焊透等缺陷。

6.5.3.2 评定线以下的缺陷均评为 I 级。

6.5.3.3 焊接接头质量分级按表 11 的规定执行。

表 11 奥氏体不锈钢对接接头超声检测质量分级

等级	工件厚度 t/mm	反射波幅所在区域	允许的单个缺陷指长度/mm
I	100~110	I	≤40
		II	最大 26
II	100~110	I	≤0
		II	最不超过 40
III	100~110	II	超过 II 级者
		III	所有缺陷（任何缺陷指标长度）
		I	超过 II 级者

6.6 检测记录、报告和资料存档

检测记录、报告和资料存档，按 NB/T47013.3 标准执行。

附录 A
(资料性)
标准的符合性声明及修订

A.1 本文件的修订采用提案审查制度。任何单位和个人均有权利对本文件的修订提出建议，修订建议应采用“表 A. 1 标准提案/咨询表”的方式提交中国石油和石油化工设备工业协会。委员会对收到的标准修订提案进行审查，根据审查结果，将采纳的技术内容纳入下一版标准。

表 A. 1 标准提案/咨询表

总第 号

<input type="checkbox"/> 标准提案		<input type="checkbox"/> 标准咨询	标准名称	
单 位				姓 名
联系地址				邮政编码
电 话				电子邮箱
标准条款				
提案/咨询内容（可另附页）				
技术依据与相关资料（可另附页）				
附加说明：				
单位图章或提案（咨询）人签字：			提交日期： 年 月 日	

中国石油和石油化工设备工业协会
地址：北京市朝阳区*** 邮政编码：***

附录 B
(规范性)
承压设备接管与筒体(或封头)奥氏体型钢角接接头超声检测方法

B. 1 范围

B. 1.1 本节规定了奥氏体不锈钢接管与筒体(或封头)角接接头的超声检测方法。

B. 1.2 使用本节应符合下列条件:

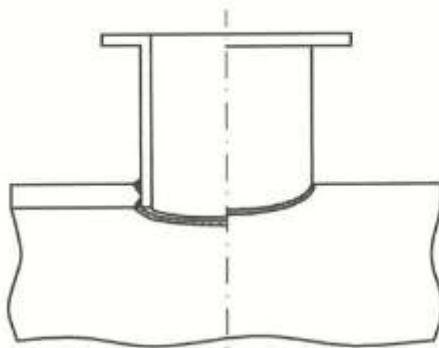
对于插入式接管与筒体(或封头)角接接头:

a) 筒体(或封头)检测面曲率半径大于或等于250mm,且内、外径比大于或等于60%;

b) 接管外径大于或等于80mm。

c) 超过以上规定范围也可参照本节执行,需按本文件规定进行工艺验证。

B. 2 接管与筒体(或封头)角接接头型式



图B-1 接管与筒体(或封头)角接接头型式示意图

B. 3 探头

B.3.1 检测时应确保探头与工件的稳定接触。

B.3.2 探头选择应符合本文件6.4.3.2的规定。

B. 4 仪器调节

B.4.1 斜探头入射点、折射角(K值)及仪器时基线

斜探头入射点、折射角(K值)的测量及时基线调整应选择在专用对比试块I和专用对比试块II上或等效的CSK-IA上进行。

B. 4.2 距离-波幅曲线

B.4.2.1 距离-波幅曲线灵敏度符合NB/T 47013.3-2023及表11规定。

B.4.2.2 检测面曲率半径大于等于40mm~250mm时,对比试块外形及尺寸可参考NB/T 47013.3-2023标准中规定的RB-L或RB-C试块设计,并符合本文件4.2试块中专用对比试块II及专用对比试块III的要求。

B.4.2.3 检测面曲率半径大于等于40mm~250mm时,距离-波幅曲线的灵敏度修正应在RB-L或RB-C试块或等效专用对比试块上进行,此时应考虑不同检测位置,检测曲面率的变化导致声程等变化的修正,包括:

a) 封头上或筒体上的不同焊接接头;

b) 同一焊接接头的不同检测位置(相对于筒体轴线偏转角的变化,接管在封头上不同位置引起的检测面曲率的变化)。

B. 5 检测

B.5.1 当接管外径大于或等于250mm时,角接接头检测方法、探头数量、检测面及探头扫查区宽度符合图B-2和表B-1规定。

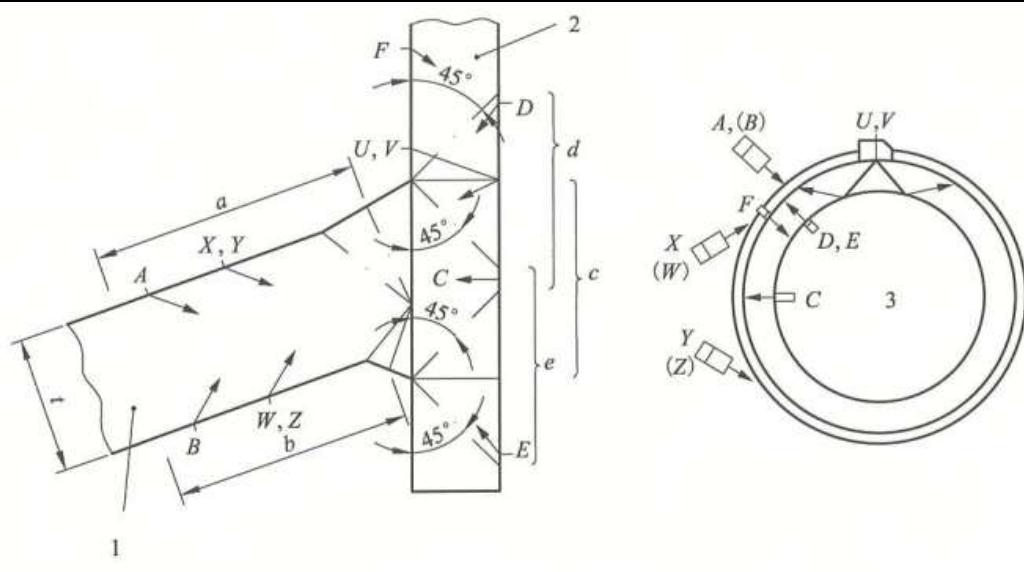


图 B-2 插入式接管角接头
表 B-1 插入式接管角接头超声检测的具体要求

检测技术等级	工件厚度 t mm	纵向缺陷检测				横向缺陷检测		
		斜探头检测			直探头检测		斜探头横向扫查	
		不同折射角 (K 值) 探头数量	检测面 (侧)	探头扫查区宽度	探头位置	探头扫查区宽度	不同折射角 (K 值) 探头数量	检测面
B	$6 \leq t \leq 40$	1	(A 和 B) 和 (D 和 E)	0.75p, $d+e$	C	c	1	(X 和 Y) 或 (W 和 Z)
	$40 < t \leq 110$	2	(A 和 B) 和 (D 和 E)	0.75p	C	c	2	(X 和 Y) 和 (W 和 Z)
		1	(D 和 E)	$d+e$				
C	$6 \leq t \leq 15$	1	(A 和 B) 和 (D 和 E)	0.75p, $d+e$	C	c	1	(X 和 Y) 或 (W 和 Z)
	$15 < t \leq 110$	2	(A 和 B) 和 (D 和 E)	0.75p, $d+e$	C	c	2	(X 和 Y) 或 (W 和 Z)
1: 本表适用于接管外径大于或等于 250mm, 且管内径大于或等于 200mm 的角接头检测。 2: 对于接管外径大于或等于 250mm, 且接管内径小于或等于 200mm 的角接头检测, 应尽可能在位置 C、D、E 进行检测或尽可能在位置 C 进行检测。 3: 本表适用于筒体 (或封头) 检测面曲率半径大于或等于 250mm, 且内、外径比大于或等于 60%。 4: P 为检测面跨距。								

B.5.2 当接管外径大于或等于 80mm~250mm 时, 角接头检测方法、探头数量、检测面及探头扫查区宽度应符合图 B-2 和表 B-2 的规定。

表 B-2 插入式接管角接接头超声检测的具体要求

检测技术等级	工件厚度 t/mm	纵向缺陷检测					横向缺陷检测	
		斜探头检测			直探头检测		斜探头横向扫查	
		不同折射角 (K 值) 探头数量	检测面 (侧)	探头扫查区宽度	探头位置	探头扫查区宽度	不同折射角 (K 值) 探头数量	检测面
B	6≤t≤40	2	(A 和 B)	0.75p	a	b	1	(X 和 Y) 或 (W 和 Z)
	40<t≤110	2	(A 和 B)	0.75	a	b	2	(X 和 Y) 和 (W 和 Z)
C	6≤t≤15	2	(A 和 B)	0.75p	a	b	1	(X 和 Y) 或 (W 和 Z)
	15<t≤110	2	(A 和 B)	0.75p	a	b	2	(X 和 Y) 或 (W 和 Z)
a 尽可能使用直探头在位置 C 进行检测。 b 当使用直探头进行检测时，探头扫查区宽度为 c。 c p 为检测面距距。								

B.6 验证要求

B.6.1 模拟试块制作应参照本文件要求，截取的试件应大于四分之一圆。

B.6.2 模拟试块应符合本文件 4.2 试块中的要求。

附录 C
(规范性)

承压设备接管与筒体(或封头)奥氏体型钢角接接头相控阵超声检测方法

C. 1 插入式接管角接接头型式

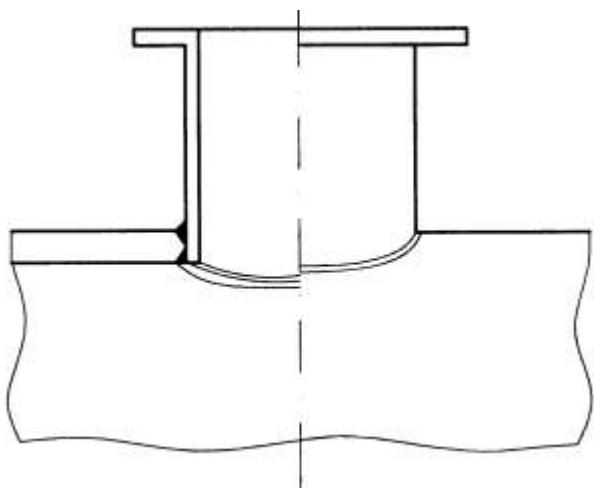


图 C-1 接管与筒体(或封头)角接接头型式示意图

- a) 筒体(或封头)检测面曲率半径大于或等于 250mm, 且内、外径比大于或等于 60%;
- b) 接管外径大于或等于 200mm。
- c) 当超过上述范围时, 制定模拟试块进行能力验证。

C. 2 探头

C. 2.1 检测时应确保探头与工件的稳定接触, 探头与接触面间隙不大于 0.5mm。

C. 2.2 探头选择应符合 5.4.6.1 的规定。

C. 3 仪器调节

C. 3.1 仪器调节

应选择在专用对比试块 I 和专用对比试块 II 上进行, 或等效的专用 CSK-IA 上进行。

C. 3.2 距离-波幅曲线

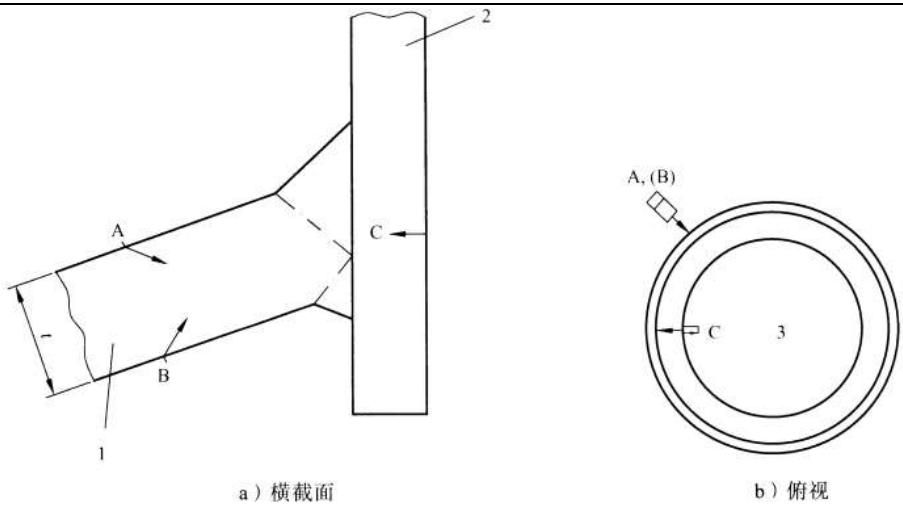
C. 3.2.1 距离-波幅曲线灵敏度符合 NB/T 47013.15 及本文件中表 6 规定。

C. 3.2.2 检测面曲率半径大于等于 40mm~250mm 时, 对比试块外形及尺寸可参考 NB/T 47013.3-2023 标准中规定的 RB-L 或 RB-C 试块设计, 并符合本文件 4.2 试块中专用对比试块 II 及专用对比试块 III 的要求。

C. 3.2.3 检测面曲率半径大于等于 40mm~250mm 时, 距离-波幅曲线的灵敏度修正应在 RB-L 或 RB-C 试块或等效专用对比试块上进行, 此时应考虑不同检测位置, 检测曲面率的变化导致声程等变化的修正, 包括:

- a) 封头上或筒体上的不同焊接接头;
- b) 同一焊接接头的不同检测位置(相对于筒体轴线偏转角的变化, 接管在封头上不同位置引起的检测面曲率的变化)。

C. 4 插入式接管角接接头的检测要求按图 C-2 和表 C-1 的规定。



A、B、C—探头位置；1—筒体或封头或平板；2—接管

图 C-2 插入式接管角接接头探头位置示意图

表 C-1 插入式接管角接接头相控阵超声检测的具体要求

检测技术 等级	工件厚度 t/mm	斜入射 ^{a, b, c}			直入射扇扫或线扫 ^d 探头位置
		检测面（侧）	扫描方式	扫查设置	
B	$6 \leq t \leq 100$	A 和 B	扇扫	一次波，每面 ≥ 2 种探头位置	C
	$100 < t \leq 200$			一次波，每面 ≥ 3 种探头位置	
C	$6 \leq t \leq 100$	A 和 B	扇扫	一次波，每面 ≥ 2 种探头位置	C
	$t > 100$			一次波，每面 ≥ 3 种探头位置	

a 如需进行横向缺陷的检测，则按 NB/T 47013.3 的规定进行。
 b 当接管厚度与筒体或封头厚度相当时，也可以接管上放置探头进行检测，替代 A 或 B 其中的一个探头位置的检测。
 c 如仍不能实现检测区域的全覆盖，应增加探头位置检测。
 d 必要时或接管内径大于或等于 200mm 时，增加此探头位置检测。

C.5 验证要求

C.5.1 模拟试块制作应参照本文件要求，截取的试件应大于四分之一圆。

C.5.2 模拟试块应符合本节 4.2 试块中的要求。