

ICS 19.100

CCS H 26

团 体 标 准

T/CASEI XXX-XXXX

热壁加氢反应器的相控阵超声检测技术要求

Technical requirements of Phased-array Ultrasonic
Testing in hot wall hydrogenation reactor

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国特种设备检验协会 发布

目 次

前 言..... III

1. 范围..... 1

2. 规范性引用文件..... 1

3. 术语和定义..... 2

4. 工艺文件..... 8

5.工艺验证..... 10

6.相控阵超声检测的一般程序..... 11

7.环境与安全要求..... 11

8.一般要求..... 11

9.试块..... 14

10.工艺参数设置的一般原则..... 21

11.检测实施的一般原则..... 22

12.检测图像和检测数据的一般要求..... 23

13.检测系统的复核..... 24

14.检测时机..... 24

15.检测技术等级..... 25

16.不同类型焊接接头的检测要求..... 27

17.聚焦设置..... 36

18.检测系统的调试..... 36

19.检测区域..... 38

20.母材的检测..... 39

21.缺陷定量..... 40

22.缺陷的评定和质量分级..... 41

23.检测记录和报告..... 43

附录 A （规范性） 钢制热壁加氢反应器小径管焊接接头相控阵超声检测..... 45

附录 B （规范性） 异种金属焊接接头相控阵超声检测方法和质量分级..... 52

附录 C （资料性） 焊接接头全聚焦相控阵超声检测..... 63

前 言

本标准按照 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》给出的规则起草。

本标准由中国特种设备检验协会提出并归口。

本标准负责起草单位：一重集团大连核电石化有限公司。

本标准参加起草单位：中国特种设备检测研究院、浙江省特种设备科学研究院、中国神华煤制油化工有限公司鄂尔多斯煤制油分公司、中国科学院声学研究所、大连理工大学、航天科工防御技术研究试验中心、中国石化工程建设有限公司、中石油华东设计院有限公司、中石化广州工程有限公司、森松（江苏）重工有限公司、广州特种设备检测研究院、大连锅炉压力容器检验检测研究院有限公司、江苏省特种设备安全监督检验研究院、北京市朝阳区特种设备检测所、国能锅炉压力容器检验有限公司、吉林市特种设备检验中心、齐齐哈尔市检验检测中心、瀚洋重工装备制造（天津）有限公司、中国石油天然气股份有限公司吉林石化分公司、天津市特种设备监督检验技术研究院、中广核工程有限公司、北京邹展麓城科技有限公司

本标准主要起草人：赵振南、原可义、胡建胜、胡庆斌、程明、乔瀚宇、周凤革、廉国选、罗忠兵、张国强、尹青峰、谢育辉、张国信、江雁山、汪文锋、王浩然、丁小平、程红伟、郝晓军、王德林、谭锡钫、包国平、丁武仁、刘怿欢、邹国伟、李剑峰。

考虑到本文件中的某些条款可能涉及专利，中国特种设备检验协会不负责对其任何专利的鉴别。

本标准首次发布。

热壁加氢反应器相控阵超声检测技术要求

1. 范围

- 1.1 本部分规定了铁素体钢制热壁加氢反应器全熔化焊焊接接头采用相控阵超声检测的方法和质量分级要求，按本部分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。
- 1.2 本部分适用范围见表 1-1。
- 1.3 钢制热壁加氢反应器小径管焊接接头相控阵超声检测方法和质量分级见附录 A
- 1.4 热壁加氢反应器异种金属焊接接头相控阵超声检测方法和质量分级见附录 B（规范性）。
- 1.5 采用全聚焦相控阵超声技术检测焊接接头见附录 C（资料性）。
- 1.6 与热壁加氢反应器有关的支撑件和结构件焊接接头的相控阵超声检测可参照本部分执行。

表 1-1 铁素体钢制热壁加氢反应器焊接接头相控阵超声检测适用范围

单位为 mm

焊接接头类型	工件厚度t	检测面直径
筒体（或封头）对接接头	≥6~500	≥100的纵向对接接头且内外径比≥60%
		≥159的环向对接接头
接管与筒体（或封头）角接头	≥6~500	插入式：筒体（或封头）≥500，内外径比≥60%，接管内径≥200； 安放式：筒体（或封头）≥300，接管内径≥100
T型焊接接头	≥6~200	—
管子环向对接接头	≥3.5~150	外径≥32
管子纵向对接接头	≥6~150	外径≥100且内外径比≥60%

注：工件厚度的定义见 NB/T 47013.3—2023。

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。

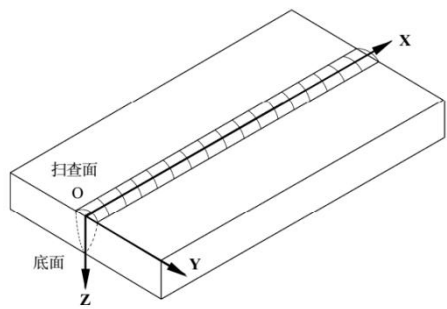
GB/T 12604.1	无损检测 术语 超声检测
GB/T 11259	无损检测 超声检测用钢参考试块的制作和控制方法
GB/T 29302	无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验
GB/T 32563	无损检测 相控阵超声检测方法
JB/T 8428	无损检测 超声试块通用规范
JB/T 11731	无损检测 超声相控阵探头通用技术条件
JB/T 11779	无损检测仪器 相控阵超声检测仪技术条件
NB/T 47013.1	承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求
NB/T 47013.3	承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测
NB/T 47013.15-2021	承压设备无损检测 第 15 部分：相控阵超声检测
API RP 934-A	高温高压氢用 2¼Cr-1Mo、2¼Cr-1Mo-¼V、3Cr-1Mo、3Cr-1Mo-¼V 钢制厚壁压力容器的材料与制造要求

3. 术语和定义

GB/T 12604.1、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 和 Z 坐标的含义。对于焊接接头，其坐标含义如图 3-1 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^a；Z——沿焊缝厚度方向的坐标。

注 a: 接管内壁直探头检测时, 扫查方向为 Y 轴坐标方向

图 3-1 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、偏转和聚焦等功能，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

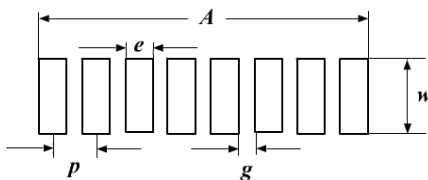
用于波束形成与超声信号接收合成的控制法则，一般指参与超声波发射和接收的阵列探头各阵元电路的时序和时间间隔。

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 3-2 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（3-1）计算：

$$A = n \cdot e + g(n-1) = n \cdot p - g \quad (3-1)$$



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——阵元长度。

图 3-2 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长度方向移动，类似 A 型脉冲反射法超声检测探头扫查移动的效果。

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，以实现声束在一定角度范围内偏转移动。

3.9 扫查 scan

探头与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、横向扫查和斜向扫查等方式。

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 3-1 中的 X 轴方向）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、纵向倾斜扫查和纵向平行扫查等方式。

3.12 纵向垂直扫查 longitudinal scan with perpendicular beam

探头沿焊缝长度方向移动、探头入射声束方向垂直于移动方向的纵向扫查方式，如图 3-3 所示。

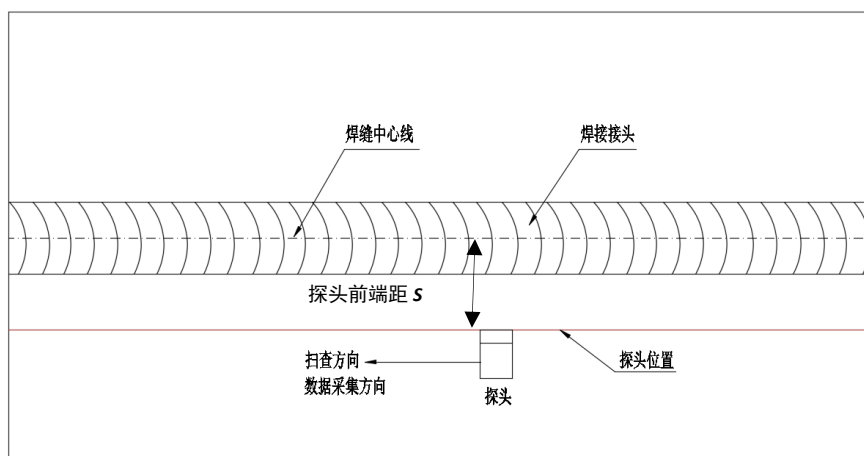


图 3-3 纵向垂直扫查

3.13 纵向倾斜扫查 longitudinal scan with oblique beam

探头沿焊缝长度方向移动、探头入射声束方向与移动方向成一定夹角的纵向扫查方式，如图 3-4 所示。

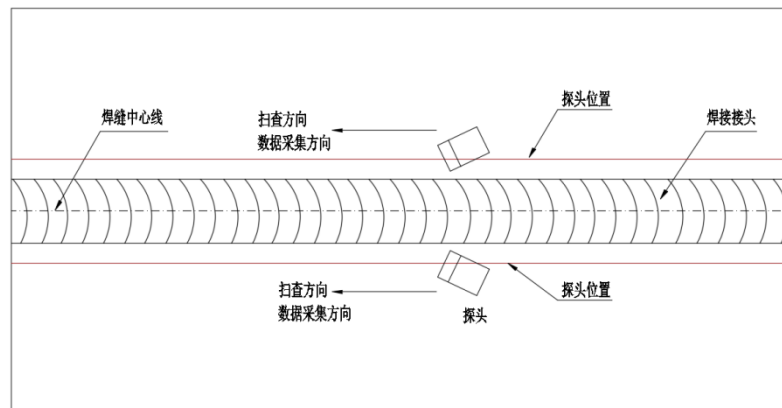


图 3-4 纵向倾斜扫查

3.14 纵向平行扫查 longitudinal scan with parallel beam

探头沿焊缝长度方向移动、探头入射声束方向与移动方向平行的纵向扫查方式，如图 3-5 所示。

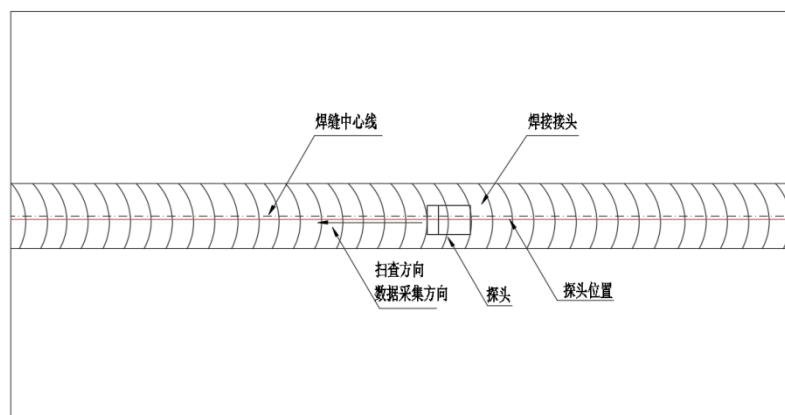


图 3-5 纵向平行扫查

3.15 横向扫查 transverse scan

探头沿焊缝宽度方向（即图 3-1 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向，如图 3-6 所示。

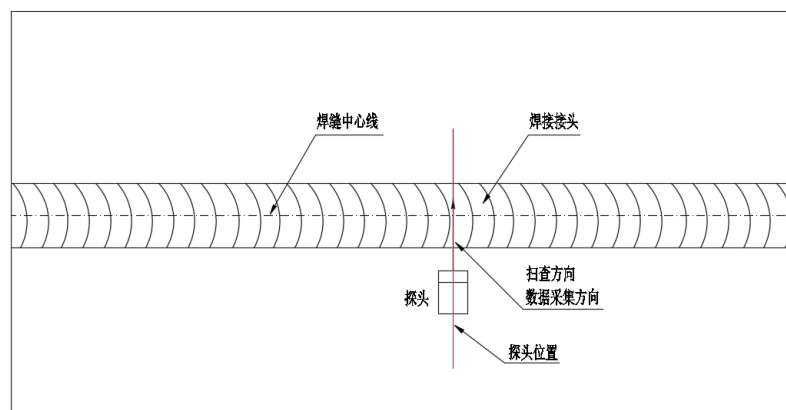


图 3-6 横向扫查

3.16 纵向垂直格栅扫查 longitudinal grid scan

探头沿接管焊缝长度方向移动，探头入射声束方向垂直于移动方向，格栅纵向垂直扫查方式。如图 3-7 所示。

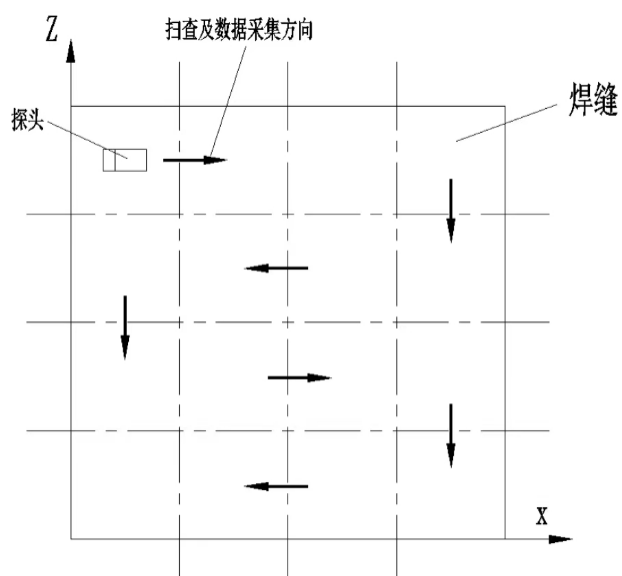


图 3-7 接管内壁方向对接管与筒体（或封头）焊接接头进行纵向垂直格栅扫查

3.17 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 3-3 所示。

3.18 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同声程和尺寸的反射体，使其回波幅度等量化的增益修正方式。

3.19 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。

3.20 B 型显示 B-display

在与声束纵截面平行且与工件扫查面垂直的剖面所形成的声场图像。对于焊接接头，为 Y-O-Z 平面投影图像，如图 3-8 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。

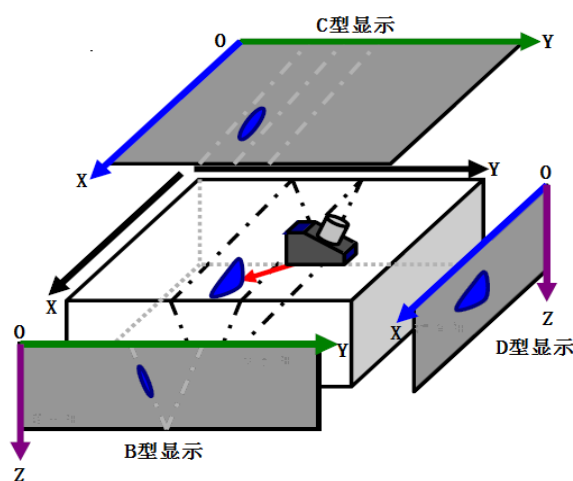


图 3-8 显示类型示意图

3.21 C 型显示 C-display

在与工件扫查面平行的剖面所形成的声场图像。对于焊接接头，为 X-O-Y 平面投影图像，如图 3-7 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。

3.22 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-O-Z 平面投影图像，如图 3-7 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。

3.23 S 型显示 S-display

由扇扫描声束形成的扇形图像显示，如图 3-9 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，并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。

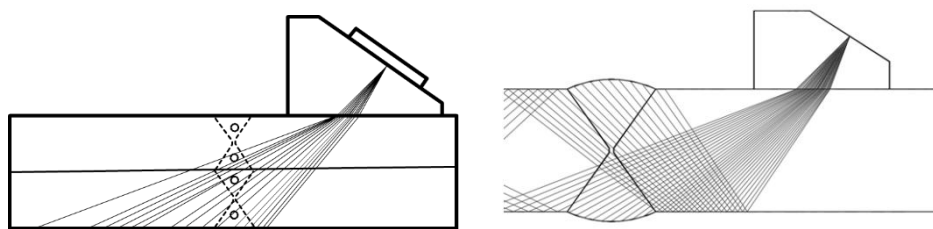


图 3-9 S 型显示示意图

3.24 V 型显示 V-scan presentation

将检测结果以三维（空间）方式显示于检测区域体积范围内，以不同颜色表示信号波幅的成像显示方式。

3.25 全聚焦（TFM） total focusing method

一种特殊的相控阵超声检测技术，其实现方式是逐一激发阵列探头激发孔径内的单个（或多个）阵元，同时所有阵元（或设定的阵元组）接收，依次遍历激发所有阵元（或阵元组）之后，再根据延迟法则对目标网格化区域内的每一个点进行计算和成像。实现形式一般包括 FMC（全矩阵采集）、AFM（自适应全聚焦）、PWI（平面波激发）等。

3.26 相关显示 relevant indication

由缺陷引起的显示，也叫缺陷显示。

3.27 非相关显示 non-relevant indication

与缺陷无关的外部因素所形成的显示。一般由工件结构（例如焊缝余高或根部、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、根焊和盖面焊以及坡口形状的变化等引起的显示。

3.28 异种金属焊接接头 bi-metallic weld

针对热壁加氢反应器，异种金属焊接接头一般为铁素体钢与奥氏体不锈钢焊接接头，铁素体钢可堆焊隔离层或不堆焊隔离层。

4. 工艺文件

4.1 热壁加氢反应器检测工艺文件包括工艺规程和工艺卡（操作指导书）。

4.2 热壁加氢反应器工艺规程除满足 NB/T 47013.1、NB/T 47013.15 的要求外，还应符合表 4-1 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 4-1 相控阵超声检测工艺规程相关因素

序号	内容
1	热壁加强反应器焊接接头的类型及形状，包括工件规格、厚度、材料牌号和产品形式等（如板焊、锻焊等）
2	焊接方法、焊接工艺（如坡口型式、角度等）
3	检测面（侧）的选取
4	检测技术（线扫描、扇扫描、直接接触法及波型等）
5	相控阵检测仪器类型
6	相控阵探头类型及参数（阵元高度和宽度、间隙、数量）
7	楔块尺寸及角度
8	聚焦范围（深度或声程）
9	激发孔径尺寸（激发阵元数量、激发孔径长度和宽度）
10	扫描类型（线扫描、扇扫描）
11	耦合剂类型
12	校准（试块与校准方法）
13	扫查方向及扫查范围
14	扫查方式（纵向垂直扫查、纵向平行扫查或纵向倾斜扫查、横向扫查等）
15	人员资质要求、检测报告要求
16	检测数据分析和解释
17	验收级别（质量等级）

4.3 热壁加氢反应器工艺卡（操作指导书）是根据被检工件和工艺规程的要求编制。内容除满足 NB/T 47013.1，还应包括：

- a) 检测技术要求：相控阵检测技术等级、检测时机、检测比例、合格级别、校准范围等；
- b) 检测设备和器材：相控阵检测设备（编号）、探头名称（编号）、楔块、耦合剂、扫查装

置、试块名称（编号）和规格型号，工作性能检查的项目、时机和性能指标；

- c) 检测工艺参数：检测区域或检测覆盖区域、扫查面及其准备要求、接触方式、探头位置、扫描类型及扫查方式、采用波型、一次波与多次波反射、激发阵元数量、起始阵元位置、角度、聚焦方式及位置、扫查步进、扇扫描角度步进、灵敏度，横向缺陷的检测方法。

4.4 检测工艺文件的编制、审核和批准应符合相关法规或标准的规定。

4.5 工艺卡（操作指导书）在首次应用前应按第 5 条的要求进行工艺验证。

5. 工艺验证

5.1 对热壁加氢反应器铁素体钢制对接接头检测，技术等级为 B 级时，采用通用对比试块进行工艺验证。

5.2 对热壁加氢反应器特点，以下情况时，制作有代表性的专用对比试块或模拟试块（c 项仅能采用模拟试块），代表性试块应覆盖工艺规程中该类对象范围，至少包含工件规格的最小值和最大值，并选用相应的试块进行工艺验证：

- a) 按技术等级 B 级对铁素体钢制正交角接或 T 型接头的检测；
- b) 按技术等级 B 级奥氏体钢制对接接头的检测；
- c) 按技术等级 C 级对铁素体钢制对接接头的检测。

5.3 以下情况时，应制作与被检工件一致的专用对比试块或模拟试块（a 项仅能采用模拟试块）进行工艺验证：

- a) 细晶与粗晶材料焊接形成的异种金属焊接接头；
- b) 因结构等原因不能完全满足检测技术等级要求的焊接接头；
- c) 非正交角接或 T 型接头；
- d) 不属于 5.1 和 5.2 范围的其他被检工件；
- e) 合同规定和技术要求或相关方认为必要时。

5.4 采用 5.3 条进行工艺验证时，也可采用超声仿真的方式替代进行，但采用的仿真应经技术验证和现场试验符合热壁加氢反应器实际检测要求，同时提供相关证明文件。

5.5 工艺验证结果

5.5.1 能有效的检测出试块中所有的参考反射体或缺陷。

5.5.2 测量的缺陷尺寸（指示长度、高度等）应不小于缺陷实际尺寸。

5.5.3 对于模拟试块，应能够确定缺陷类型（体积型、面积型）。

5.6 可委托有能力的相关技术机构或有资质的第三方检测公司，进行工艺验证并提供证明文件。

6.相控阵超声检测的一般程序

- a) 被检工件材料的声学特点和结构分析；
- b) 被检工件建模和仿真分析（必要时）；
- c) 试块的选择或制作；
- d) 检测器材的选择；
- e) 工艺试验与验证；
- f) 检测工艺文件；
- g) 检测的实施；
- h) 检测数据有效性评价、图像分析与缺陷评定；
- i) 检测记录和报告。

7.环境与安全要求

热壁加氢反应器检测场所、环境及安全防护应符合 NB/T 47013.1 的规定。

8.一般要求

8.1 检测人员

8.1.1 从事热壁加氢反应器无损检测人员，应按照国家特种设备无损检测人员考核的相关规定取得相应无损检测人员资格，方能承担与资格证书的种类和技术等级相应的无损检测工作。

8.1.2 检测人员的一般要求应符合 NB/T 47013.1 的有关规定。

8.1.3 对于从事相控阵超声检测的人员，应具有一定的金属材料、焊接、热处理及热壁加氢反应器制造安装等方面的基本知识，还应掌握相关材料、结构、制造工艺和声场建模等知识，并经过专项训练，

掌握超声不同方向投射生成的 B/C/D/S 扫描图的关联性，并熟悉所使用的相控阵检测设备器材，具备图像分析能力和测量技能以及相应的检测经验。

8.2 检测设备和器材

8.2.1 热壁加氢反应器检测设备包括相控阵检测仪器（以下简称“仪器”）及与仪器相连接的探头、扫查装置和电缆线等构成的整体；器材指实现检测功能所需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。检测设备和器材性能应符合本标准要求，功能应满足所检测对象的工艺要求。

8.2.2 仪器

8.2.2.1 热壁加氢反应器焊接接头检测仪器应符合 JB/T11779 规定，需有产品合格证书，其性能应满足 GB/T29302、GB/T32563 和 NB/T 47013.15 的有关规定。仪器的电气性能和基本功能应满足 NB/T 47013.15-2021 附录 B（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 47013.15-2021 附录 A（资料性）中规定的格式。

8.2.2.2 热壁加氢反应器焊接接头相控阵超声探头应符合 JB/T11731 规定，需有产品合格证书，应对探头进行测试，其使用性能应满足 GB/T32563 和 NB/T 47013.15 的有关规定。探头的性能指标应满足 NB/T 47013.15-2021 附录 C（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。

8.2.2.3 检测仪器、探头及其组合性能的要求

8.2.2.3.1 组合性能的测试方法及合格要求见表 8-1。

表 8-1 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±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 1338	采用频率为5MHz的相控阵超声探头时，不大于 5°

8.2.2.3.2 发生以下情况时应测定仪器和探头的组合性能：

- a) 新购置的仪器和（或）探头；
- b) 仪器、探头和连接线缆在维修或更换主要部件后；
- c) 检测人员有怀疑时。

8.2.2.4 扫查装置

8.2.2.4.1 为确保探头运动轨迹与参考线保持一致，应采用专用扫查装置。

8.2.2.4.2 包括探头夹持器、驱动器、导向器及位置传感器。

8.2.2.4.3 探头夹持器能调整和设置探头位置，扫查时固定探头相对距离和相对角度不变。

8.2.2.4.4 导向部分应在扫查时使探头运动轨迹与设定参考线保持一致。

8.2.2.4.5 驱动部分采用马达驱动或人工驱动。

8.2.2.4.6 扫查装置中的位置传感器，其位置分辨力应符合相关章节的工艺要求。

8.2.2.5 检测设备的特定功能要求

8.2.2.5.1 检测热壁加氢反应器时，检测设备应具备满足相关章节工艺所要求的功能。

8.2.2.5.2 对于热壁加氢反应器接管角接头或其他复杂结构形式的焊接接头进行相控阵检测时，检测设备需具备对象建模功能，至少可实现焊接接头轮廓线的结构仿真及相应检测数据分析。

8.2.3 耦合剂

8.2.3.1 耦合剂应具有透声性较好，且应保证无毒，对工件无腐蚀，如机油、化学浆糊和水等。

8.2.3.2 耦合剂应在工艺文件规定的温度范围内稳定可靠。

8.2.3.3 当使用水作为耦合剂时，应防止腐蚀发生，如添加防锈剂或检测后立即清理干净。

8.2.3.4 对不锈钢及异种金属焊接接头实施检测时，应限制耦合剂中氟、氯、硫离子及其他有害元素含量。镍基合金上使用的耦合剂含硫量应不大于 250mg/L，奥氏体不锈钢上使用的耦合剂卤素（氯和氟）的总含量应不大于 250mg/L。

8.2.4 检测设备的校准、核查、运行核查和检查

8.2.4.1 一般要求

校准、核查、运行核查和检查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，获得稳定和最大的反射信号；将影响仪器线性的控制器（如抑制或滤波开关等）置于“关”的位置。

8.2.4.2 校准或核查

每年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向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 8.2.2.3.1 的规定。

8.2.4.3 运行核查

8.2.4.3.1 每隔 6 个月至少对仪器和探头组合性能中的垂直线性、水平线性进行一次运行核查并记录，测试要求应满足 8.2.2.3.1 的规定。

8.2.4.3.2 每隔 1 个月至少对阵元有效性进行一次运行核查并记录，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。

8.2.4.4 检查

8.2.4.4.1 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。

8.2.4.4.2 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%。

9. 试块

9.1 标准试块

9.1.1 标准试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、DB PZ20-2、A 型相控阵试块和 B 型相控阵试块。

9.1.2 CSK- I A、DB PZ20-2 试块的具体形状和尺寸见 NB/T 47013.3，A 型相控阵试块见图 9-1，

B 型相控阵试块见图 9-2。

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

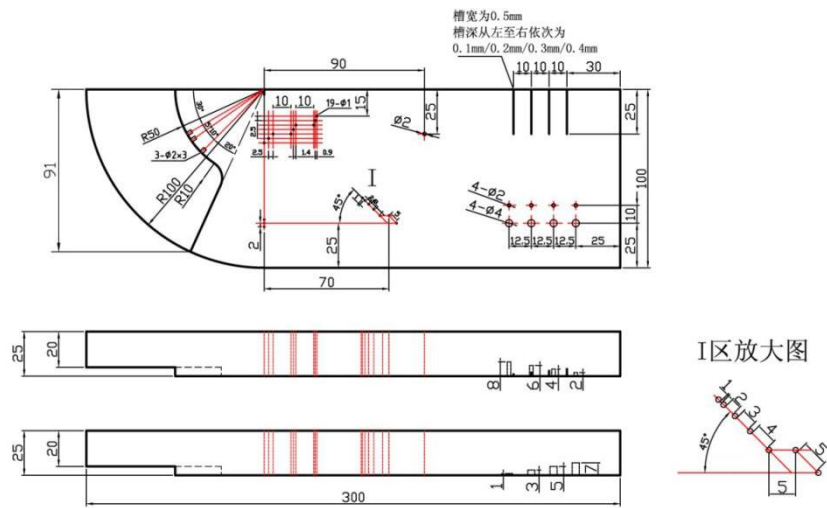


图 9-1 A 型相控阵试块

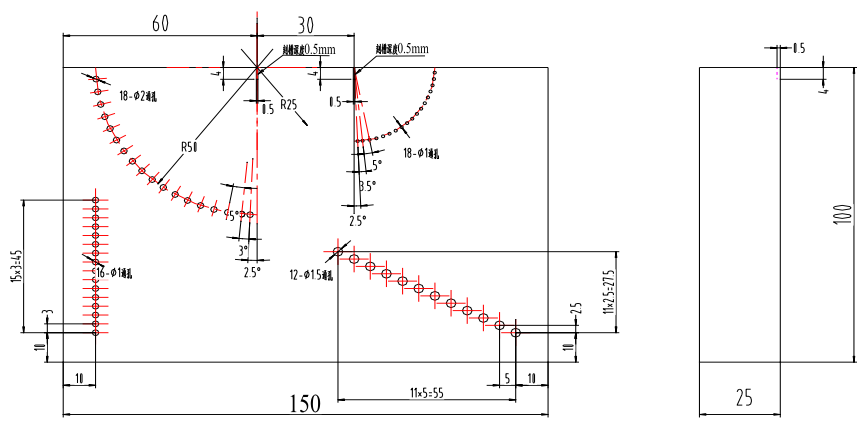


图 9-2 B 型相控阵试块

9.2 对比试块

9.2.1 对比试块主要用于检测校准；

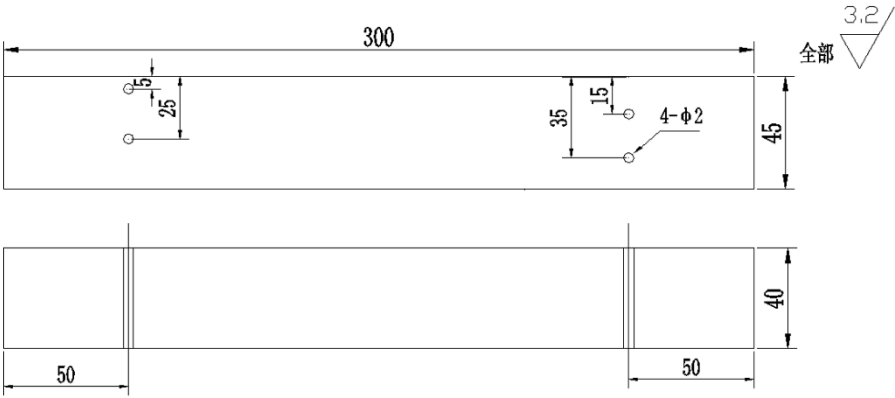
9.2.2 通用对比试块

- a) 试块几何形状、尺寸和参考反射体设置按图样规定，其尺寸精度应满足 JB/T 8428 的要求。
- b) 通用对比试块应采用与被检工件相同或近似声学性能的材料制成，该材料用直探头检测时，不得有大于或等于 $\Phi 2\text{mm}$ 平底孔当量直径的缺陷。
- c) 针对检测面曲率半径大于或等于 250mm 或平板的焊接接头，采用的通用对比试块为 PRB 系列试块，其适用范围和形状见表 9-1 和图 9-3；也可采用 NB/T 47013.3 规定的 CSK-II A 系列、CSK-IV A 系列，其适用范围和使用原则按 NB/T 47013.3 的规定执行。
- d) 对于检测面曲率半径小于 250mm 的焊接接头，可采用 NB/T 47013.3 规定的 RB-C 及 RB-L 系列试块，其适用范围和使用原则按 NB/T 47013.3 的规定执行。

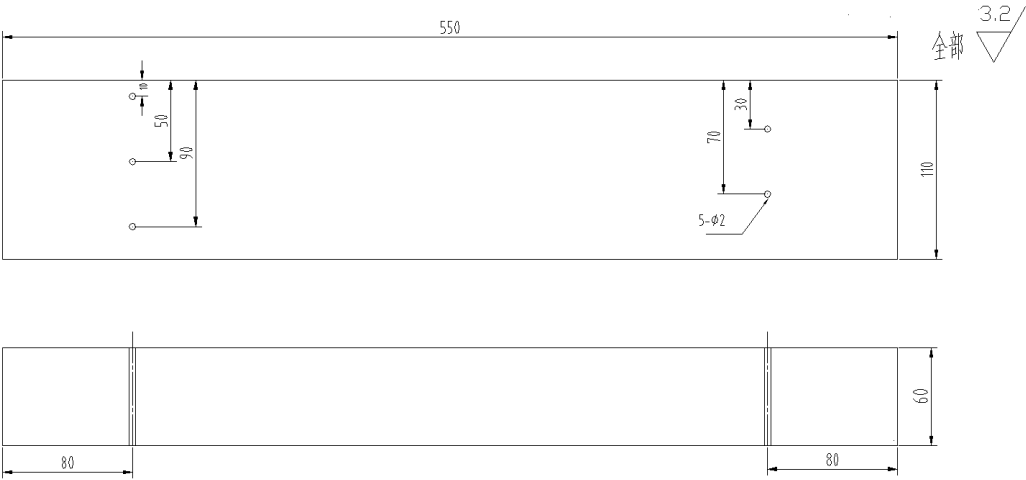
表 9-1 PRB 系列通用对比试块及其使用范围

单位为 mm

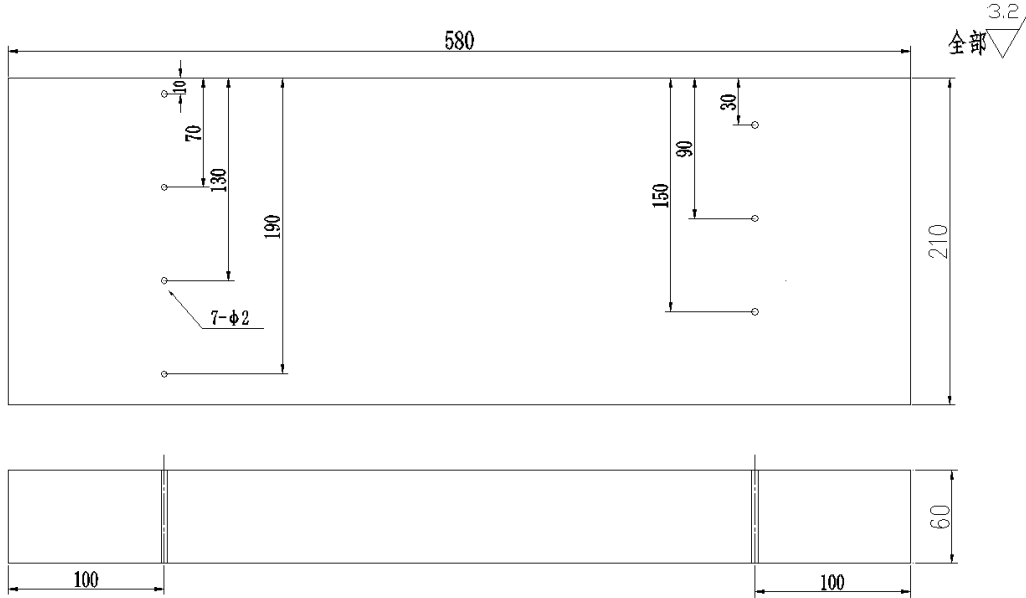
试块	对应的焊接接头的厚度范围	试块	对应的焊接接头的厚度范围
PRB- I	$\geq 6\sim 40$	PRB-IV	$> 200\sim 300$
PRB- II	$> 40\sim 100$	PRB- V	$> 300\sim 400$
PRB-III	$> 100\sim 200$	PRB-VI	$> 400\sim 500$



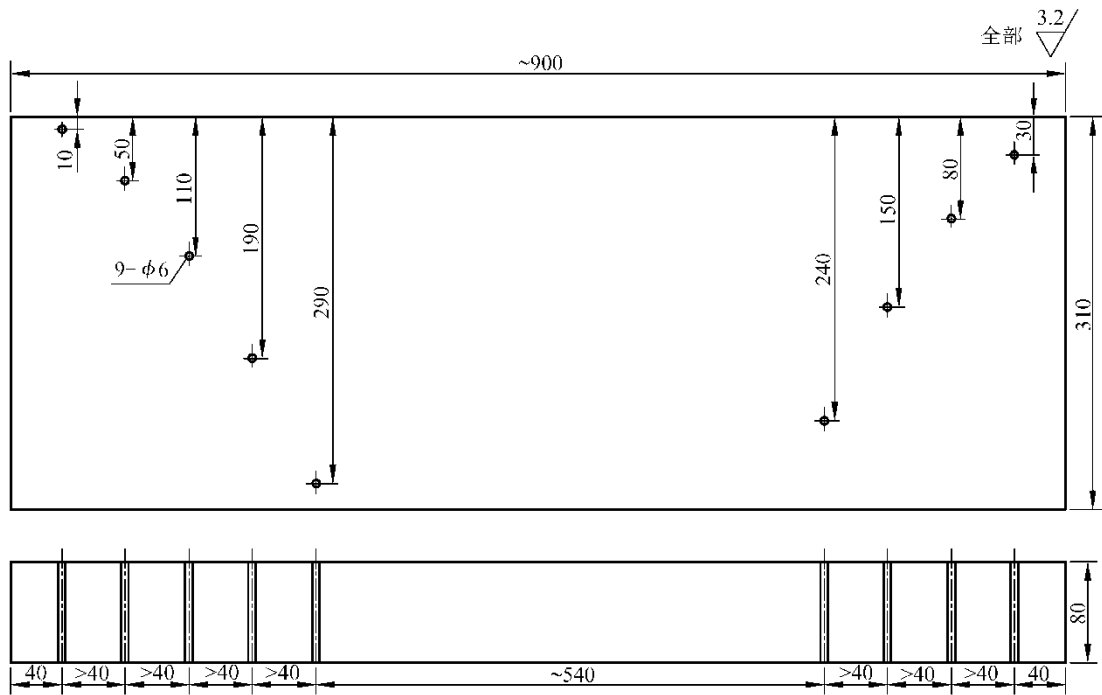
a) PRB- I 试块



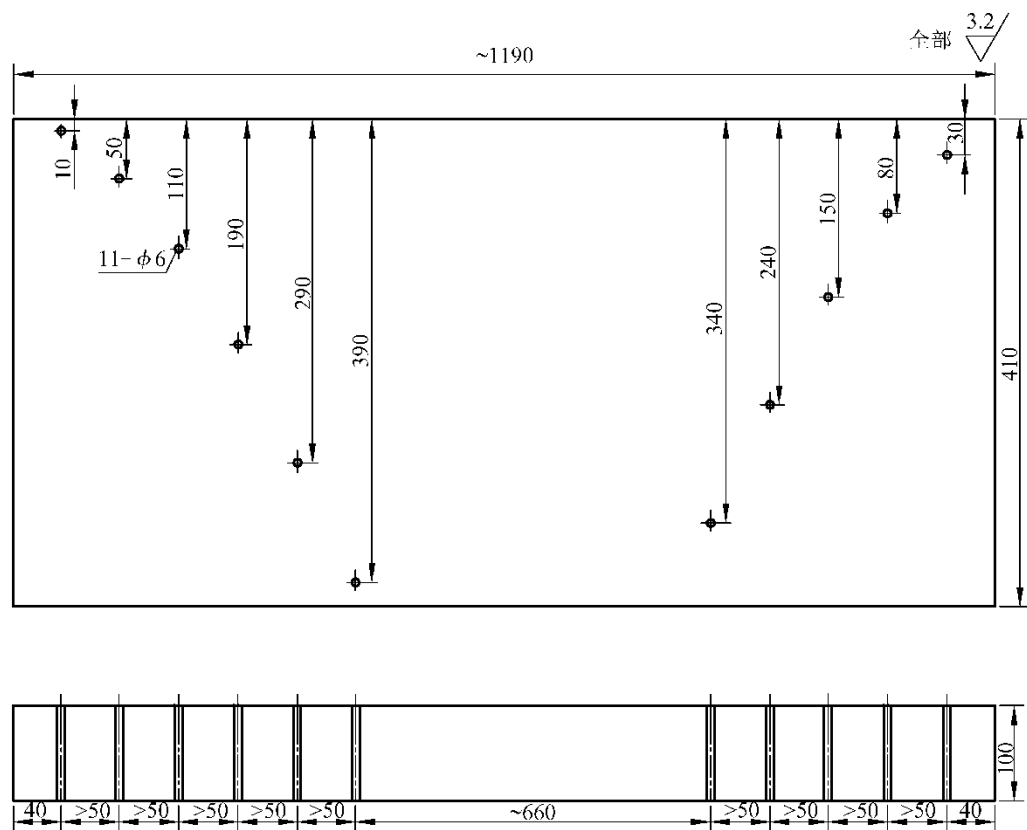
b) PRB-II 试块



c) PRB-III 试块



d) PRB-IV 试块



e) PRB-V 试块



图 9-3 PRB 系列试块

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。专用对比试块与被检工件材料声学性能二者间声速偏差率应不超过 $\pm 1\%$, 用 5MHz 探头测试衰减系数相差不超过 $\pm 2\text{dB/m}$ 。

c) 参考反射体的设置可参考本部分各章节图样规定，应满足检测校准和设备调试所需。

19

工方法堆焊。

e) 针对检测面曲率半径小于 250mm 的环向焊接接头, 对比试块的曲率半径应为检测面曲率半径的 0.9 倍~1.5 倍; 针对检测面曲率半径小于 250mm 的纵向焊接接头, 对比试块的曲率半径应为检测面曲率半径的 0.9 倍~1.1 倍; 检测面曲率半径 $R \leq W^2/4$ 时, 应采用在与检测面曲率相同的对比试块上进行。

f) 若作为第 5 条所要求的工艺验证用途时, 还应考虑被检工件中可能存在的缺陷类型、大小、位置和走向并设置相应的参考反射体。

g) 接管内壁直探头检测时, 推荐专用对比试块形式, 见图 9-4。

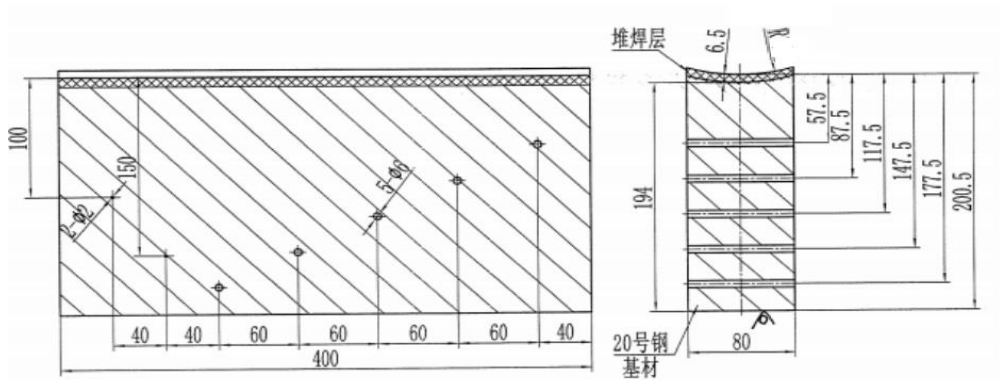


图 9-4 内壁专用对比试块示意

9.2.4.4 模拟试块

9.2.4.4.1 模拟试块为有模拟缺陷的试块, 主要用于工艺验证。

9.2.4.4.2 试块的材料和声学特性应与被检工件相同或相近, 二者间声速偏差率应不超过 $\pm 1\%$, 用 5MHz 探头测试衰减系数相差不超过 $\pm 2\text{dB/m}$; 使用直探头检测时, 不得有大于或等于 $\Phi 2\text{mm}$ 平底孔当量直径的缺陷。

9.2.4.4.3 试块的外形结构、厚度和表面条件均应与被检工件相同或相近。接管与筒体 (或封头) 角接接头的模拟试块的外形结构应与接管与筒体 (或封头) 角接接头的外形结构一致。

9.2.4.4.4 对于热壁加氢反应器焊接接头, 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。

9.2.4.4.5 热壁加氢反应器焊接接头模拟试块, 模拟缺陷的设置应考虑被检工件中可能存在缺陷的

类型、位置、尺寸和数量等，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，且尺寸一般不大于质量等级 II 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。多分区扫查时，除上下表面分区外，其他分区应确保各个分区至少涵盖两个埋藏缺陷。

10.工艺参数设置的一般原则

10.1 应根据焊接接头的类型、材质、结构尺寸、壁厚、检测面以及检测方式综合选择探头（楔块）和扫查检测区域应覆盖方式等。对不同的检测区域选择相应的参数进行检测，焊接接头>40mm 时，应在厚度方向依次向上覆盖相邻检测分区深度范围的 25%。

10.2 探头参数包含类型、频率、晶片数量、晶片间距和晶片尺寸等，标称频率一般为2MHz~10MHz。在获得稳定耦合和足够信噪比的前提下，应尽可能选用频率更高、晶片数量更多的探头；对于小厚度焊接接头，多选用高频、小激发孔径的探头；对于大厚度焊接接头，多选用低频、大激发孔径的探头；对于工件厚度分区扫查焊接接头时，深度较浅分区多选用高频、小激发孔径的探头，深度较深分区，多选用低频、大激发孔径的探头；对于异种金属等粗晶焊接接头，宜选用 T/R 双线阵或 DMA/DLA 双面阵探头，厚度较大时，可分区扫查。

10.3 楔块参数主要包含其类型和形状规格等。纵波直入射法，用平楔块；对于斜入射法，选用带角度的楔块。对于曲面焊接接头，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，同时考虑对声束的影响。

10.4 对探头阵元组施加不同的延迟法则时，来实现声束的倾斜和聚焦。一般而言，对于热壁加氢反应器焊接接头，纵波直入射声束倾斜角度不宜超过±35°，斜入射时声束角度不宜超过 $\theta \pm 20^\circ$ （ θ 为楔块折射角）；相控阵探头的最大物理聚焦范围为近场区长度 N，声程超过 N 后无法实现物理聚焦，但有一定的聚焦效果。

10.5 焊接接头检测时，声束需一次或多次覆盖焊接接头的检测区域以实现缺陷的有效检出。对于纵波直入射法，影响检测区域覆盖的参数主要为探头激发孔径，对于斜入射法还包括楔块角度和探头位置等参数。当声束覆盖区域不能满足检测要求时，则应对工件进行多次检测或在厚度方向进行分区检测，各分区区域的重叠范围。

10.6 检测时，须采用带位置传感器的机械扫查方式，并设定扫查步进值。扫查步进值主要与被检工件厚度有关，应符合表 10-1 的规定。

表 10-1 扫查步进值的设置

工件厚度t/mm	扫查步进最大值ΔXmax/mm
t≤10	1.0
10<t≤150	1.5
t>150	2.0

10.7 采用线扫描时，应设定阵元步进值；采用扇扫时，应设定角度步进值，B 级检测时其值最大值应设定为小于等于 1°，C 级检测时其值应设定为小于等于 0.5°。

10.8 焊接接头多分区扫查时，扫查步进值的设置，按照分区厚度进行并符合表 10-1 的规定。

11.检测实施的一般原则

11.1 扫查

11.1.1 扫查方式和扫描方式的选择

热壁加氢反应器焊接接头扫查，应采用纵向垂直扫查与电子扫描相结合的方式进行，电子扫描包括扇扫描和线扫描等。

11.1.2 A 类接管焊接接头内壁扫查，应采用纵向垂直扫查与电子扫描相结合，电子扫描为线扫描。

11.1.3 A、B 类对接焊接接头应采用扇扫描，显示方式可选择声程显示成像或几何结构显示成像。

11.1.4 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（11-1）计算：

$$v_{max} = \frac{PRF}{N \times M} \Delta X_{\phi} \tag{11-1}$$

式中：

v_{max} ——最大扫查速度，mm/s；

PRF ——脉冲重复频率，Hz；

$PRF < C/2S$, 其中:

C ——声速, mm/s;

S ——最大检测声程, 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。

11.1.4 对于横向再热裂纹检测焊接接头时,应采用纵向平行扫查与电子扫描相结合的方式进行,电子扫描包括扇扫描和线扫描等。

11.2 耦合剂的选用及工件表面温度要求

实际检测的耦合剂应与系统校准时的耦合剂相同。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 , 应采用特殊探头和特殊耦合剂, 并进行工艺验证; 检测系统校准时与实际检测温度之差应控制在 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ 之内。

11.3 耦合的一般要求

扫查过程中应保持耦合稳定, 并对耦合情况进行监控, 当发现耦合不良时, 应对该区域重新进行扫查。

12. 检测图像和检测数据的一般要求

12.1 检测图像包括 S 型、A 型、B 型、C 型和 D 型显示, 根据需要选用合适的显示方式, 在建模结构中显示缺陷状态, 焊接接头必须选择有扇扫 (S 型显示)。

12.2 图像显示中应有检测位置信息, 定点检测时应有角度信息。

12.3 分析数据前, 对采集的数据进行评估确定其有效性。若数据无效应纠正后, 重新进行扫查。数据应满足以下要求:

- a) 采集的数据是基于扫查步进的设置而采集的;
- b) 采集的数据应耦合良好, 且数据量应满足所检测长度的要求;
- c) 每一检测数据中 A 扫描信号丢失量不得超过总量的 5%, 且相邻 A 扫描信号连续丢失长度不

超过表 10-1 规定的扫查步进最大值的 2 倍；缺陷部位 A 扫描信号丢失不得影响缺陷的评定。

d) 同一条焊缝多个图像采集时，相邻图像采集的数据长度上应有 20%的有效重叠。

12.4 图像分析数据时，应将各种显示结合被检对象材料、结构及其制造特点进行综合判断。其典型图谱，见 NB/T 47013.15-2021 的附录 E（资料性）。

13.检测系统的复核

13.1 复核时机

发生以下情况时，应对检测系统复核：

- a) 检测时，仪器、探头、连接线缆或耦合剂更换；
- b) 有怀疑时；
- c) 连续工作 4h 及以上；
- d) 检测结束时。

13.2 复核内容与要求

复核灵敏度、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，应按表 13-1 的规定执行。

表 13-1 偏离和纠正

类型	偏差	纠正
垂直 线性	≤5%	不需要纠正
	> 5%	应对上次设置以后所检测的位置进行重新检测
灵敏 度	≤3dB	不需要纠正
	> 3dB	应重新设置，并重新检测上次设置后所检测的部位
深度	≤2mm或焊接接头厚度的3%（取较大值）	不需要纠正
	>2mm或焊接接头厚度的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

14.检测时机

在热壁加氢反应器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；对于可能出现的横向再热裂纹按纵向平行扫查与电子扫描相结合的方式进行，电子扫描包括扇扫描和线扫描等。技术规格书要求时，应在热处理后进行再热裂纹检查，具体参照 API-934 附录 A 执行

15.检测技术等级

15.1 检测技术等级的选择

热壁加氢反应器焊接接头相控阵超声检测技术分为 B 级、C 级两个等级。技术等级选择应符合热壁加氢反应器制造、安装、改造、维修、使用等有关规范、标准及设计图样的规定。制造安装阶段的焊接接头检测，可以采用 B 级；对技术文件中有特殊要求的焊接接头，可采用 C 级。

15.2 技术等级的一般要求

15.2.1 B 级检测：

- a) 适用于工件厚度为 6mm~200mm 的焊接接头的检测。
- b) 检测时应保证相控阵声束对检测区域实现至少二次全覆盖。
- c) 对于按图 16-1 和表 16-1 要求进行单面双侧检测的焊接接头，如受条件限制或由于堆焊层（或复合层）存在时，无法在单面双侧进行时，可在双面单侧进行检测，每个扫查面应尽可能实现一次声束全覆盖；如只能在单面单侧进行，则应将检测面侧焊接接头余高磨平，在焊缝中心线处增加一次扇扫描+纵向垂直扫查，并采用至少一个方向的锯齿形扫查对整个检测区域进行扫查。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。
- d) 对于按图 16-1 和表 16-1 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）存在时，而选择单面双侧或双面单侧检测时，每面每侧均应尽可能实现一次声束全覆盖，同时须将焊接接头余高磨平，在焊缝中心线处增加两个方向的扇扫描+纵向垂直扫查，并采用两个方向的锯齿形扫查对整个检测区域进行扫查。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。
- e) 对于对接接头，应进行横向缺陷检测。检测时，应在焊缝两侧边缘使探头与焊缝中心线成不大于 20°角作两个方向的纵向倾斜扫查。对于余高磨平的焊缝，可将探头放在焊缝及热影响区上作两个方向的纵向平行扫查。

15.2.2 C 级检测：

- a) 适用于工件厚度为 6mm~500mm 的焊接接头的检测。
- b) 采用 C 级检测时应将对接接头的余高磨平。
- c) 应保证斜入射声束对检测区域实现至少二次全覆盖。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，检测方法按第 20 条的规定进行。
- d) 壁厚 $\geq 40\text{mm}$ 的对接焊接接头，对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。
- e) 对于按图 16-1 和表 16-1 要求进行双面双侧检测的焊接接头，如受几何条件限制，而选择单面双侧或双面单侧检测时，每面每侧均应尽可能实现一次声束全覆盖，同时应在焊缝中心线处增加两个方向的扇扫描+纵向垂直扫查，并采用两个方向的锯齿形扫查对整个检测区域进行扫查。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。
- f) 对于对接接头，应进行横向缺陷的检测。检测时，将相控阵探头置于焊缝及热影响区上作两个方向的纵向平行扫查。扫查时应覆盖整个检测区域宽度，如一次扫查不能覆盖整个宽度，则应分成二次或三次扫查，扫查应有 10% 的宽度覆盖；分区扫查时应覆盖整个检测区域深度，如一次扫查不能覆盖整个深度，应分成二次或三次扫查并有相应的 25% 覆盖，探头位置分别位于两侧熔合线上和（或）焊缝中心线上；如此时仍然不能覆盖整个宽度，则应增加锯齿形扫查。

15.2.4 当受几何条件限制，依然无法完全满足技术等级所要求的技术条件时，应按第 5 条的规定进行工艺验证后提交本标准的归口单位进行技术评价。

15.2.5 当要求对检测区域进行二次或二次以上全覆盖时，应尽可能使其中两次覆盖的声束来自大致相互垂直的两个方向。

15.2.6 扇扫角度范围的最大或最小声束角与实测楔块折射角的差值一般不应大于 20° ，且满足以下要求：

- a) 对于工件厚度在 $\geq 6\text{mm} \sim 20\text{mm}$ 焊接接头，用一次波和二次波在一种探头位置进行检测时，或厚度分区检测的最上分区覆盖最大深度 $\leq 40\text{mm}$ 时，一般不大于 38° ；
- b) 对于工件厚度在 $\geq 20\text{mm} \sim 40\text{mm}$ 焊接接头，用一次波和二次波在一种探头位置进行检测时，一般不大于 35° ；

c) 对于工件厚度>40mm 的焊接接头，扇扫角度范围应根据所用仪器和探头确定，一般不大于 30°。

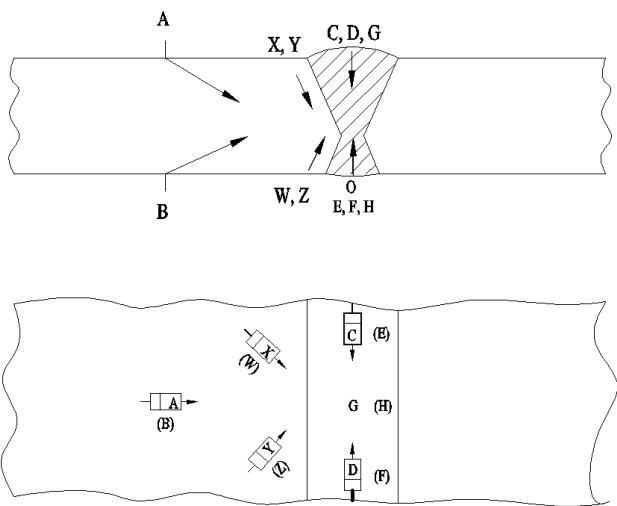
15.2.7 用 2 种或 2 种以上探头位置对热壁加氢反应器大壁厚焊接接头进行厚度分区扫查时，各分区应在厚度方向依次向上覆盖相邻分区深度范围的 25%（焊接接头中心线处）。

15.2.8 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，则线扫角度差不应小于 10°。

16.不同类型焊接接头的检测要求

16.1 平板对接接头的检测

对于热壁加氢反应器环向、纵向或可视为平板对接接头的检测要求见图 16-1 和表 16-1。



注：A, B, C, D, E, F, G, H, W, X, Y, Z：探头放置位置

图 16-1 环向对接接头探头位置示意图

表 16-1 环向对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	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 (侧)	扫描 方式	扫描设置a, b, c	探头位置	扫描方式 及设置	探头位置
B级	$6 \leq t \leq 40$	单面双侧	扇扫	一次波和二次波, 每侧 ≥ 1 种探头位置	—	扇扫	(X和Y) 或(W和Z) 或(C和D) 或(E和F)
	$40 < t \leq 100$	双面双侧或	扇扫	一次波, 或一次波和二次波, 每侧 ≥ 1 种探头位置	—	扇扫	(X和Y) 或(W和Z) 或(C和D) 或(E和F)
		单面双侧或		一次波及一次波和二次波, 每侧 ≥ 2 种探头位置			
		双面单侧		一次波及一次波和二次波, 每面 ≥ 2 种探头位置			
	$100 < t \leq 200$	双面双侧	扇扫	一次波, 每侧 ≥ 3 种探头位置	—	扇扫	(X和Y) 或(W和Z) 或(C和D) 或(E和F)
C级	$6 \leq t \leq 15$	单面双侧 或双面双侧 或双面单侧	扇扫	一次波和二次波, 每侧(面) ≥ 1 种探头位置	—	扇扫	(C和D) 或(E和F)
	$15 < t \leq 40$	双面双侧	扇扫	一次波, 或(和)一次波和二次波, 每侧 ≥ 1 种探头位置	—	扇扫	(C和D) 或(E和F)

	$40 < t \leq 100$	双面双侧	扇扫	一次波，每侧 ≥ 2 种探头位置；或一次波和（或）二次波，每侧 ≥ 2 种探头位置	单面 (G或H)	扇扫	(C和D) 或(E和F)
	$t > 100$	双面双侧	扇扫	一次波，每侧 ≥ 3 种探头位置	单面 (G或H)	扇扫	(C和D) 或(E和F)

a 当使用同一探头采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 当检测厚度较小且焊缝宽度较大时，可能使用到三次波和四次波。

c 如仍不能实现检测区域的全覆盖，应增加探头位置检测。

16.2 曲面工件（曲率半径小于 250mm）对接接头的检测

16.2.1 热壁加氢反应器环向对接接头

16.2.1.1 环向对接接头检测时，楔块的曲率应与被检工件的外表面形状相吻合，楔块边缘与被检工件接触面的间隙不应大于 0.5mm。

16.2.1.3 用 RB-C 试块或其他等效试块制作 TCG 或 DAC 曲线。

16.2.1.4 尽可能在外壁（凸面）进行检测。

16.2.1.5 环向对接接头检测具体要求按表 16-1 的规定执行。

16.2.2 热壁加氢反应器纵向对接接头

16.2.2.1 纵向对接接头检测时，楔块的曲率应与被检工件的外表面形状相吻合，楔块边缘与被检工件接触面的间隙不应大于 0.5mm。

16.2.2.2 用 RB-L 试块或其他等效试块制作 TCG 或 DAC 曲线。

16.2.2.3 尽可能在外壁（凸面）进行检测。

16.2.2.4 纵向对接接头检测具体要求按表 16-1 的规定执行。

16.3 管座角焊缝的检测

16.3.1 接管与筒体（或封头）角接头型式

对于热壁加氢反应器接管与筒体（或封头）角接头型式有插入式、安放式等，具体见图 16-2。

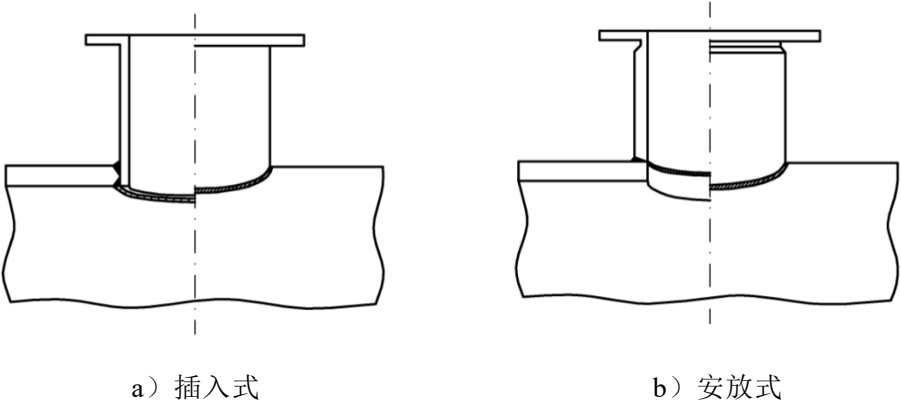


图 16-2 接管与筒体（或封头）角接头型式示意图

16.3.2 对比试块

- a) 对比试块为 CSK-II A、RB-C 或 RB-L 系列试块或其他等效试块；
- b) 根据探头所在检测面曲率的大小、工件厚度及所在位置参数选用；
- c) 用相应试块制作 TCG 或 DAC 曲线。

16.3.3 插入式管座角焊缝

插入式管座角焊缝的检测要求按图 16-3 和表 16-2 的规定。

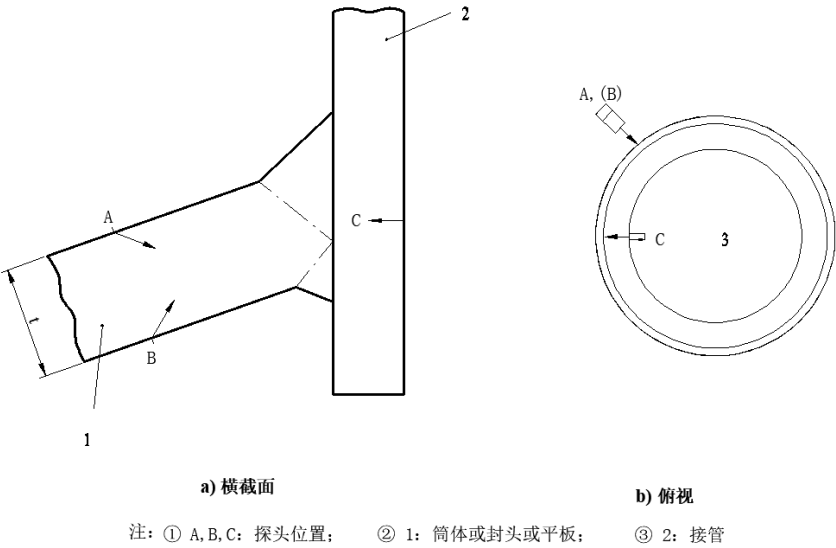


图 16-3 插入式管座角焊缝探头位置示意图

表 16-2 插入式管座角焊缝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
		检测面 (侧)	扫描方式	扫描设置	探头位置
B	$6 \leq t \leq 40$	A或B	扇扫	一次波和二次波，每面 ≥ 1 种探头位置	C
	$40 < t \leq 100$	A和B	扇扫	一次波和二次波，每面 ≥ 2 种探头位置	C
	$100 < t \leq 200$	A和B	扇扫	一次波，每面 ≥ 3 种探头位置	C
C	$6 \leq t \leq 40$	A和B	扇扫	一次波和二次波，每面 ≥ 1 种探头位置	C
	$40 < t \leq 100$	A和B	扇扫	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	C
	$t > 100$	A和B	扇扫	一次波，每面 ≥ 3 种探头位置	C
a 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，也可以在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或分区扫查。 d 接管内径大于等于150mm时，增加此探头位置检测。					

16.3.4 安放式管座角焊缝

热壁加氢反应器安放式管座角焊缝的检测要求按图 16-4 和表 16-3 的规定。

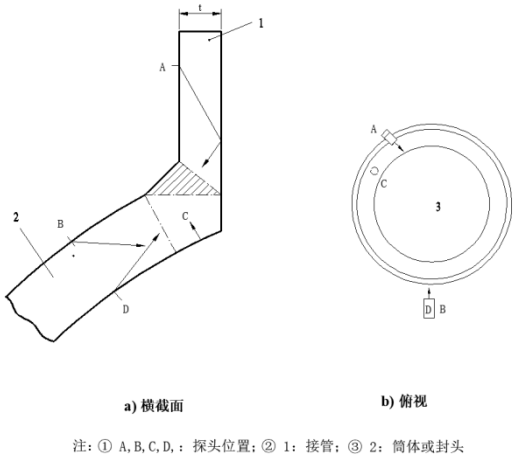


图 16-4 安放式管座角焊缝探头位置示意图

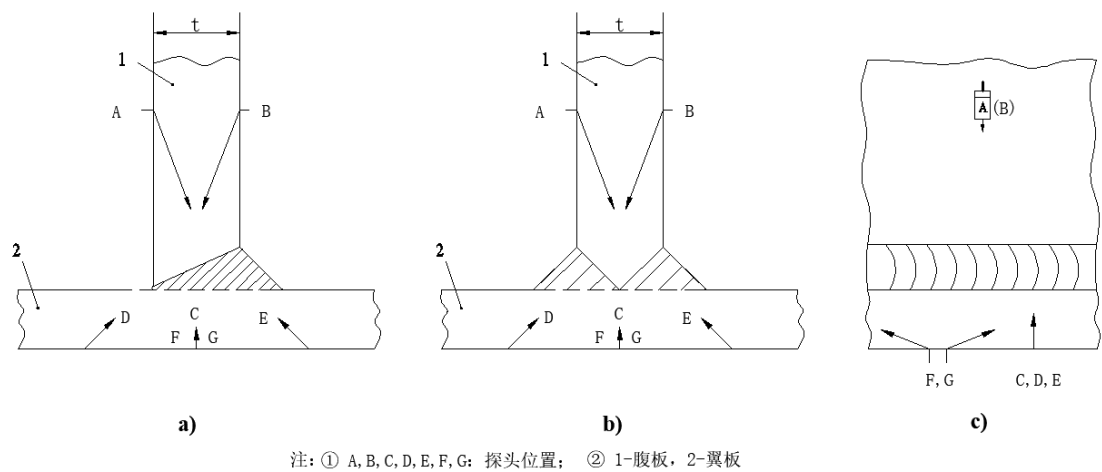
表 16-3 安放式管座角焊缝相控阵超声检测的具体要求

检测技术等级	工件厚度 t/mm	斜入射b, c			直入射 扇扫 或线扫d
		检测面 (侧)	扫描方式	扫描设置	探头位置
B级	$6 \leq t \leq 15$	A或	扇扫	一次波和二次波, ≥ 1 种探头位置	—
		B或D	扇扫	二次波或一次波, ≥ 1 种探头位置	—
	$15 < t \leq 40$	A或	扇扫	一次波和二次波, ≥ 1 种探头位置; 或	C
		B或D	扇扫	二次波或一次波, ≥ 1 种探头位置	
	$40 < t \leq 100$	A和a	扇扫	一次波和二次波, ≥ 2 种探头位置; 和	C
		B或D	扇扫	二次波, ≥ 1 种探头位置	
	$100 < t \leq 200$	A和	扇扫	一次波和二次波, ≥ 3 种探头位置; 和	C
		D或B	扇扫	一次波或二次波, ≥ 1 种探头位置	
C级	$6 \leq t \leq 15$	A和a	扇扫	一次波和二次波, ≥ 1 种探头位置; 和	C

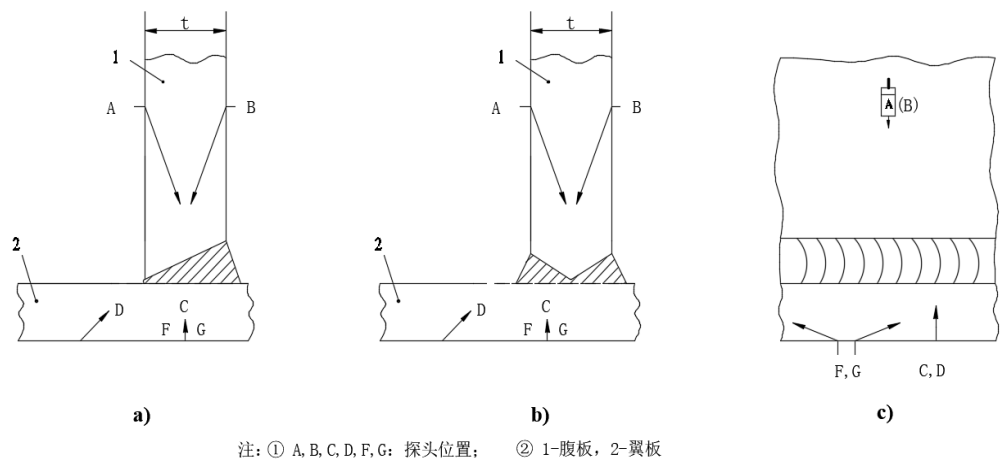
		B或D	扇扫	二次波或一次波，≥1种探头位置	
	15< t ≤40	A和a	扇扫	一次波和二次波，≥1种探头位置； 和	C
		B或D	扇扫	二次波或一次波，≥1种探头位置	
	40< t ≤100	A和	扇扫	一次波和二次波，≥2种探头位置； 和	C
		B或D	扇扫	二次波或一次波，≥1种探头位置； 或	
	t > 100	A和	扇扫	一次波和二次波，≥3种探头位；和	C
		D或B	扇扫	一次波或二次波，≥1种探头位置	
a 当位置B或D的检测面直径大于或等于500mm时，应选择B或D作为探头位置之一进行检测。					
b 横向缺陷的检测，则按NB/T 47013. 3的规定进行。					
c 如仍不能实现检测区域的全覆盖，应增加探头位置检测，或分区扫查。					
d 必要时增加此探头位置检测。					

16.4 T 型接头的检测

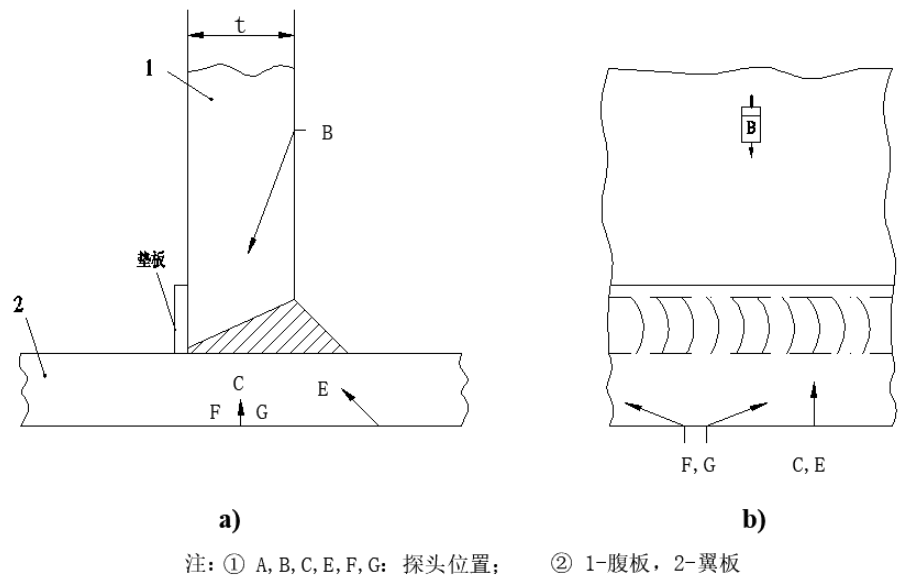
热壁加氢反应器 T 型接头的检测要求按图 16-5 和表 16-4 的规定。



T 型接头型式 1



T 型接头型式 2



T 型接头型式 3

图 16-5 T 型接头探头位置示意图

表 16-4 T 型焊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	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 (侧)	扫描 方式	扫描设置a	探头 位置	扫描 方式	探头 位置	
B级	$6 \leq t \leq 15$	(A或B) 或	扇扫	一次波和二次波, ≥ 1 种探头位置; 或	C	扇扫	F和G	
		(D和E)		一次波, 每个方向 ≥ 1 种探头位置				
	$15 < t \leq 40$	(A和B) 或	扇扫	一次波和二次波, 每侧 ≥ 1 种探头位置; 或	C	扇扫	F和G	
		(D和E)		一次波, 每个方向 ≥ 1 种探头位置				
	$40 < t \leq 100$	(A和B) 或	扇扫	一次波和二次波, 每侧 ≥ 2 种探头位置; 或	C	扇扫	F和G	
		(D和E)	扇扫	一次波, 每个方向 ≥ 1 种探头位置				
	$100 < t \leq 200$	(A和B) 或	扇扫	一次波和二次波, 每次 ≥ 3 种探头位置; 或	C	扇扫	F和G	
		(D和E)	扇扫	一次波, 每个方向 ≥ 1 种探头位置				
	C级	$6 \leq t \leq 15$	(A和B) 或	扇扫	一次波和二次波, 每侧1种探头位置; 或	C	扇扫	F和G
			(D和E)	扇扫	一次波, 每个方向 ≥ 1 种探头位置	C	扇扫	F和G
$15 < t \leq 40$		(A和B) 或	扇扫	一次波和二次波, 每侧 ≥ 1 种探头位置; 或	C	扇扫	F和G	
		(D和E)	扇扫	一次波, 每个方向 ≥ 1 种探头位置				
$40 < t \leq 100$		(A和B) 和	扇扫	一次波和二次波, 每侧 ≥ 2 种探头位置; 和	C	扇扫	F和G	
		(D和E)	扇扫	一次波, 每个方向 ≥ 1 种探头位置				
$t > 100$		(A和B) 和	扇扫	一次波和二次波, 每侧 ≥ 3 种探头位置; 和	C	扇扫	F和G	
		(D和E)	扇扫	一次波, 每个方向 ≥ 1 种探头位置				
a 如仍不能实现检测区域的全覆盖, 应增加探头位置检测, 或者分区扫查; 当检测空间允许时, 也可选择在翼板内侧放置探头进行检测, 以替代探头位置D或(和)E。								

17.聚焦设置

17.1 对于热壁加氢反应器焊接接头，初始扫查的聚焦深度设置宜避免在近场区内。当检测声程范围在 50mm 以下时，聚焦深度可以设置在最大探测声程处；当检测声程范围在 50mm 以上时，聚焦深度可以选择检测声程范围的中间值或其他适当深度。

17.2 对于分区扫查时，近表面分区的聚焦深度设置应避免在近场区内，聚焦深度可选择声程范围的中间值；其他分区聚焦深度设置，应在该分区的最大探测声程处。

17.3 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。

18.检测系统的调试

18.1 相控阵探头的选择

18.1.1 根据焊接接头厚度，来选择相控阵探头标称频率。一般为 2MHz~10MHz。

18.1.2 对于热壁加氢反应器焊接接头，扇扫检测时单次激发的阵元数不得低于 16，线扫描进行纵波检测时，单次激发阵元数不得低于 4。与工件厚度有关的相控阵探头参数选择可参考表 18-1。

18.1.3 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，修磨时应重新测量楔块几何尺寸，同时考虑对声束的影响。

表 18-1 扇扫描检测焊接接头时相控阵探头参数选择推荐表

工件厚度/mm	激发孔径/mm	标称频率/MHz	工件厚度/mm	激发孔径/mm	标称频率/MHz
6~15	6~12	5~10	>40~100	16~40	2~7.5
>15~40	8~20	4~10	>100	≥16	2~5
注1：在满足检测灵敏度及信噪比的情况下，尽可能选择频率高的探头。					
注2：阵元长度w应大于或等于6mm。					
注3：当该表规定的探头参数与表18-3不一致时，以表18-3规定的为准。					

18.2 延迟法则参数

根据热壁加氢反应器焊接接头结构特点和现场条件，应选择扇扫描。角度步进值应设定为小于等

于 1° 。

18.3 灵敏度设置

18.3.1 灵敏度调整

对于热壁加氢反应器焊接接头采用通用对比试块时，对被检工件进行检测时应考虑与被检工件间的声学性能差异并进行必要的修正或补偿；采用专用对比试块时，检测时主要考虑表面条件不同引起的声能传输差异，必要时还应考虑两者间加工工艺差异引起的变化。

18.3.2 对于热壁加氢反应器焊接接头，可选用 TCG（含 ACG）和 DAC（含 ACG）两种方式进行灵敏度设置，推荐采用 TCG（含 ACG）进行灵敏度设置。

18.3.3 对于热壁加氢反应器焊接接头，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。

18.3.4 在校准过程中，应控制噪声信号，信噪比应≥12dB。

18.4 TCG 或 DAC 曲线灵敏度选择

18.4.1 对于热壁加氢反应器焊接接头，TCG 或 DAC 曲线灵敏度应符合表 18-2 的规定。

表 18-2 TCG 或 DAC 曲线的灵敏度

单位为 mm

工件厚度/mm	评定线	定量线	判废线
6~40	φ2-18dB	φ2-12dB	φ2-4dB
>40~100	φ2-14dB	φ2-8dB	φ2+2dB
>100~200	φ2-10dB	φ2-4dB	φ2+6dB
>200~300	φ6-13dB	φ6-7dB	φ6+3dB
>300~500	φ6-11dB	φ6-5dB	φ6+5dB

18.4.2 横向检测缺陷时，应将各线灵敏度均提高 6dB。

18.4.3 工件表面耦合损失和材质衰减应与试块相同，否则应作声能传输损失差的测定，并根据实测结果对检测灵敏度进行补偿，补偿量应计入 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。

18.4.4 分区扫查时，灵敏度曲线应按焊接接头厚度来确定。

18.4.5 环向焊接接头（或相当于平板）工件厚度有关的检测分区、探头选取和设置应符合表 18-3。

表 18-3 环向或平板对接接头的探头性选择和设置

工件厚度t mm	厚度分 区数	深度范围 mm	标称频率 MHz	激发孔径 mm	扫描设置	扇扫角度 范围
$\geq 6 \sim 20$	1	$0 \sim t$	$10 \sim 5$	$6 \sim 12$	一次波和二次波	$\leq 38^\circ$
$> 20 \sim 40$	1	$0 \sim t$	$10 \sim 4$	$8 \sim 20$	一次波和二次波	$\leq 35^\circ$
$> 40 \sim 100$	2	$t/2 \sim t$	$7.5 \sim 5$	$12 \sim 24$	一次波，单面双侧	$\leq 35^\circ$
		$0 \sim t/2$	$5 \sim 2$	$19 \sim 32$	二次波，单面双侧	$\leq 30^\circ$
$> 100 \sim 200$	3	$0 \sim 40$	$7.5 \sim 5$	$12 \sim 20$	一次波，双面双侧	$\leq 38^\circ$
		$40 \sim 3t/5$	$5 \sim 2$	$16 \sim 32$	一次波，双面双侧	$\leq 30^\circ$
		$3t/5 \sim t$	$5 \sim 2$	$19 \sim 32$	一次波，双面双侧	$\leq 30^\circ$
$> 200 \sim 300$	4	$0 \sim 50$	$7.5 \sim 5$	$12 \sim 20$	一次波，双面双侧	$\leq 35^\circ$
		$50 \sim t/2$	$5 \sim 2$	$19 \sim 32$	一次波，双面双侧	$\leq 30^\circ$
		$t/2 \sim 3t/4$	$5 \sim 2$	≥ 24	一次波，双面双侧	$\leq 30^\circ$
		$3t/4 \sim t$	$5 \sim 2$	≥ 24	一次波，双面双侧	$\leq 25^\circ$
$> 300 \sim 400$	5	$0 \sim 50$	$7.5 \sim 5$	$12 \sim 20$	一次波，双面双侧	$\leq 35^\circ$
		$50 \sim 2t/5$	$5 \sim 2$	$19 \sim 32$	一次波，双面双侧	$\leq 30^\circ$
		$2t/5 \sim 3t/5$	$5 \sim 2$	≥ 24	一次波，双面双侧	$\leq 30^\circ$
		$3t/5 \sim 4t/5$	$5 \sim 2$	≥ 32	一次波，双面双侧	$\leq 25^\circ$
		$4t/5 \sim t$	$3 \sim 2$	≥ 32	一次波，双面双侧	$\leq 25^\circ$

19. 检测区域

19.1 检测面要求与准备

19.1.1 检测面上应清除油漆、飞溅、铁屑、油垢及其他异物，以免影响声波耦合和缺陷判断。

应进行打磨。检测面平整，有利于探头的移动，表面粗糙度 $Ra \leq 6.3 \mu m$ 。当采用纵向垂直扫查焊接接头时，打磨宽度应大于相控阵探头参考线的 150mm。

19.1.2 焊缝余高磨平或 C 级检测时，焊接接头应将余高打磨到与邻近母材平齐。保留余高的焊接接头，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。

19.2 检测区域的确定

19.2.1 对于热壁加氢反应器焊接接头，检测区域由其高度和宽度表征。

19.2.2 对接接头检测高度为工件厚度加上焊缝余高。

19.2.3 检测区域宽度为焊缝本身加上焊缝熔合线两侧各 10mm 或实测热影响区宽度（取大者）。

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

19.3 检测标识

焊接接头检测前应在工件扫查面上予以标记，标记内容至少包含扫查起始点和扫查方向，起始标记应在热壁加氢反应器图纸的装配 0 点处用“0”标记，扫查方向用箭头表示。当焊缝长度较长需要分段检测时，应画出分段标识。所有标记应对扫查无影响。

19.4 参考线

19.4.1 用于扫查时沿步进方向行走的预定线路。

19.4.2 检测前，应在扫查面上设定参考线以便进行纵向垂直扫查、横向扫查，参考线在检测区一侧距焊缝中心线的距离应根据相控阵结构建模而定；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%。

20. 母材的检测

对于 C 级检测，斜探头扫查声束通过的母材区域，应采用直探头进行检测，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。该项检测应在报告上进行记录，但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：调节一次声程（深度）最大处附近的 $\phi 5\text{mm}$ 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下超过显示屏满刻度 40% 的部位，应在工件表面做出标记，并予以记录。

21. 缺陷定量

21.1 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、高度等，可采用各种聚焦方法提高定量精度。

21.2 缺陷深度

以获得缺陷的最大反射波幅的位置为缺陷深度。

21.3 缺陷波幅

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（侧））作为缺陷的波幅。

21.4 缺陷指示长度

21.4.1 结合 A 扫在 D 扫描或 C 扫描视图上进行缺陷指示长度测定。

21.4.2 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。

21.4.3 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，以端点-6dB 法测量其指示长度。

21.4.4 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。

21.5 缺陷自身高度

21.5.1 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。

21.5.2 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。横波端点衍射法见 NB/T 47013.15-2021 附录 K。

21.5.3 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。

21.5.4 以任一点测定的最大值作为该缺陷的自身高度。

21.5.5 对满足 NB/T 47013.10 检测要求的热壁加氢反应器焊接接头，也可采用 TOFD 检测进行缺陷自身高度测量。

21.6 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、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：以两个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）。

22. 缺陷的评定和质量分级

22.1 缺陷的评定

22.1.1 凡判定为裂纹、未熔合及未焊透等危害性的缺陷，评为Ⅲ级。

22.1.2 凡在判废线（含判废线）以上的缺陷，评为Ⅲ级。

22.1.3 凡在评定线（不含评定线）以下的缺陷，评为Ⅰ级。

22.2 质量分级

22.2.1 钢制热壁加氢反应器全熔化焊Ⅰ型焊接接头质量分级方法一（制造安装阶段）：

- a) 缺陷长度按实测值计；
- b) 质量分级按表 22-1 的规定。

22.2.2 钢制热壁加氢反应器全熔化焊Ⅰ型焊接接头质量分级方法二（在用阶段）：

- a) 圆形缺陷的评定按 22-1 的规定进行；
- b) 条形缺陷的评级按表 22-2 的规定进行。

22.2.3 热壁加氢反应器承压焊接接头质量等级评定，如无特殊要求，按Ⅰ级执行。

表 22-1 钢制热壁加氢反应器本体焊接接头质量分级方法一

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	多个缺陷累计长度 最大允许值/ L'
Ⅰ级	$\geq 6\sim 100$	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, 且深度在工件厚度40%范围内 (最小可为6mm, 但最大不超过30mm), L' 不超过t且最大不超过150
	> 100		$\leq t/3$, 最大不超过50	
Ⅱ级	$\geq 6\sim 100$	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, 且深度在工件厚度40%范围内 (最小可为6mm, 但最大不超过30mm), L' 不超过t且最大不超过200
	> 100		$\leq 2t/3$, 最大不超过75	
Ⅲ级	≥ 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1: 当焊缝长度不足 $9t$ (Ⅰ级) 或 $4.5t$ (Ⅱ级) 时, 可按比例折算。当折算后的多个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缺陷累计长度允许值。				
注2: 用21.4规定的测量方法, 使声束垂直于缺陷的主要方向左右移动探头测得的缺陷长度。				

表 22-2 钢制热壁加氢反应器本体焊接接头质量分级方法二

单位为 mm

质量等级	工件厚度 /mm	单个缺陷						多个缺陷
		表面缺陷			埋藏缺陷			
		长度 lmax	高度 h3	若l>lmax缺陷高度 h1	长度 lmax	高度 h2	若l>lmax缺陷高度 h1	

I级	$6 \leq t \leq 8$	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 , 则在任意12t范围内, 且深度在工件厚度40%范围内(最小可为6mm, 但最大不超过30mm), 累计长度不得超过2t且最大值为150mm; 2) 对于单个或多个允许的表面积缺陷, 其最大累计长度不得大于整条焊缝长度的5%且最长不得超过200mm
	$8 < t \leq 15$	8	2.0	1.0	8	2.0	1.0	
	$15 < t \leq 40$	15	2.5	1.5	15	2.5	1.5	
	$40 < t \leq 60$	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	
	$t > 100$	45	3.5	2.5	45	5.0	3.0	
II级	$6 \leq t \leq 8$	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, 且深度在工件厚度40%范围内(最小可为6mm, 但最大不超过30mm), 累计长度不得超过3t且最大值为200mm; 2) 对于单个或多个允许的表面积缺陷, 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300mm
	$8 < t \leq 15$	t	2.0	1.0	t	2.0	1.5	
	$15 < t \leq 40$	t	2.5	1.5	t	3.0	2.0	
	$40 < t \leq 60$	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	6~500	超过II级者						
注: 母材壁厚不同时, 取薄侧厚度值。								

23.检测记录和报告

23.1 应按照热壁加氢反应器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。相控阵超声检测记录除符合 NB/T 47013.1 的规定外, 还至少包括以下内容。

23.1.1 工艺规程版次或操作指导书编号。

23.1.2 检测技术等级。

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

23.1.4 检测技术要求: 执行标准、检测技术等级、检测时机、检测比例、合格级别、扫查灵敏度、激发阵元数量、激发阵元起始位置、扫描方式和扫查方式、探头位置、聚焦深度、角度范围、

角度步进、扫查步进、检测前的表面准备和耦合补偿量等。

23.1.5 检测结果应包括以下内容：

- a) 检测部位示意图；
- b) 数据文件名及检测长度；
- c) 缺陷记录：缺陷起始位置、长度、深度、回波波幅等；
- d) 缺陷评定级别；
- e) 缺陷类型、缺陷自身高度（在用热壁加氢反应器检测时）。

23.1.6 检测人员和复核人员签字。

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

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

附录 A

(规范性)

钢制热壁加氢反应器小径管焊接接头相控阵超声检测

A.1 范围

本条适用于热壁加氢反应器小径管焊接接头相控阵超声检测，适用范围见表 A-1。

表 A-1 适用范围

单位为 mm

焊接接头类型	工件厚度	检测面直径
管子环向对接接头	$\geq 6 \sim 50$	外径 $\geq 32 \sim 159$
	$\geq 3.5 \sim 6$	外径 ≥ 32

A.2 试块

A.2.1 标准试块

本条采用的标准试块应符合 9.1 的规定。

A.2.2 对比试块

A.2.2.1 对比试块制作符合 9.2 的规定。

A.2.2.2 对比试块的曲率应与被检管径相同或相近，当管外径在 32mm~159mm 时，其曲率半径之差不应大于被检管径的 10%；当管外径大于 159mm 时，对比试块的曲率半径应为检测面曲率半径的 0.9 倍~1.5 倍。检测面曲率半径 $R \leq w^2/4$ 时，应采用在与检测面曲率相同的对比试块上进行。

A.2.2.3 对于热壁加氢反应器小径管焊接接头，对比试块可采用 PGS 系列试块，其型号、形状和尺寸应分别符合图 A-1 和表 A-2 的规定。也可采用 NB/T 47013.3 规定的 GS 系列试块，其适用范围和使用原则按 NB/T 47013.3 的规定执行。

A.2.2.4 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。

表 A-2 试块圆弧曲率半径及适用范围

单位为 mm

试块型号	试块圆弧曲率半径R	适用管外径范围
PGS-1	18	32~40
PGS-2	22	40~48
PGS-3	26	48~57
PGS-4	32	57~72
PGS-5	40	72~90
PGS-6	50	90~110
PGS-7	60	110~132
PGS-8	72	132~159
注：当工件厚度大于30mm时，可按图B-1样式制作对比试块或采用其他型式的等效试块。		

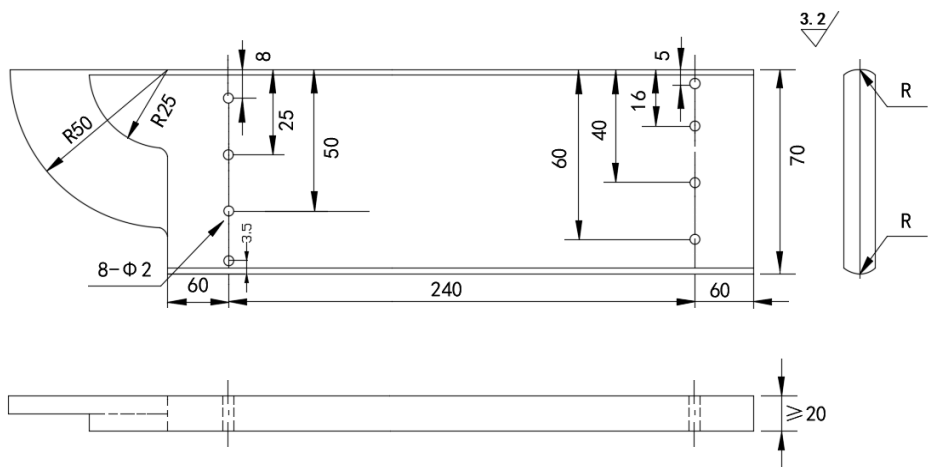


图 A-1 PGS 试块形状和尺寸

A.3 检测准备

A.3.1 检测区域的确定

A.3.1.1 对于热壁加氢反应器小径管焊接接头，检测区域由其高度和宽度表征。

A.3.1.1.1 对接接头检测高度为工件厚度加上焊缝余高。

A.3.1.1.2 检测区域宽度为焊缝本身加上焊缝熔合线两侧各 10mm。

A.3.1.2 若对已发现缺陷部位进行复检或已确定的重点部位，检测区域可缩减至相应部位。

A.3.2 表面准备

A.3.2.1 探头移动区内应清除焊接飞溅、铁屑、油垢及其他杂质，应进行打磨。检测面应平整，便于探头的移动，表面粗糙度 $Ra \leq 6.3\mu m$ 。当采用纵向垂直扫查时，打磨宽度根据工艺设置确定。

A.3.2.2 去除余高的焊缝，应将余高打磨到与邻近母材平齐。保留余高的焊缝，如果焊缝表面有咬边、较大的隆起和凹陷等也应进行适当的修磨，并做圆滑过渡以免影响检测结果的评定。

A.3.3 检测标识

参照 19.2 条执行。

A.3.4 参考线

A.3.4.1 用于扫查时沿步进方向行走的预定线路。

A.3.4.2 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应根据工艺设置而定；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%。

A.4 检测系统的调试

A.4.1 相控阵探头的选择

A.4.1.1 对于热壁加氢反应器小径管焊接接头，一次激发的阵元数不得低于 16 个。

A.4.1.2 对于热壁加氢反应器小径管焊接接头，与工件厚度有关的相控阵探头参数选择可参考表 B-3。

A.4.1.3 楔块的曲率应与被检管件的形状相吻合，楔块边缘与被检工件接触面的间隙应小于 0.5mm。

表 A-3 检测焊接接头时相控阵探头参数选择推荐表

管壁厚度/mm	激发孔径/mm	标称频率/MHz
3.5~15	6~10	7.5~10
>15~30	7~15	4~7.5
注1：在满足能穿透的情况下，尽可能选择激发孔径小和频率高的探头。		

注2: w应大于或等于6mm。

A.4.2 扫描方式

A.4.2.1 可用一次波和二次波同时设置的扇扫描进行扫查。对于工件厚度为 3.5mm~7mm 的对接接头,也可采用三次波、二次波或四次波分开设置的扇扫描或线扫描进行检测,但需经工艺验证后实施。

A.4.2.2 扫查时应在焊接接头的单面双侧进行。由于结构原因,无法在单面双侧进行扫查时,可在单面单侧采用锯齿形扫查进行初扫,并增加一次扇扫描+纵向垂直扫查。若采用锯齿形扫查发现缺陷,可在缺陷位置采用扇扫描+纵向垂直扫查进行图谱采集。

A.4.3 选择延迟法则参数

对于热壁加氢反应器小径管焊接接头,根据检测对象和现场条件选择扫描类型确定延迟法则。

A.4.4 灵敏度曲线的制作

在 PGS 系列对比试块上制作 TCG 或 DAC 曲线。

A.4.5 ACG 修正

A.4.5.1 当采用扇扫描时,为避免角度灵敏度差异,在相应的 PGS 系列试块上进行 ACG 修正。

A.4.5.2 若检测设置需要,扇形扫描可选择楔块衰减补偿的调试,楔块衰减补偿的调试采用 PGS 试块上的 R50 圆弧进行。

A.4.6 TCG 或 DAC 的灵敏度选择

对于热壁加氢反应器小径管焊接接头,不同管壁厚度的 TCG 或 DAC 灵敏度的选择应符合表 B-4 的规定。

表 B-4 TCG 或 DAC 的灵敏度

管壁厚度/mm	评定线	定量线	判废线
3.5~6	$\phi 2-14\text{dB}$		$\phi 2-8\text{dB}$
≥ 6	$\phi 2-16\text{dB}$	$\phi 2-10\text{dB}$	$\phi 2-4\text{dB}$

A.4.7 位置传感器的校准

检测前应对位置传感器进行校准和记录，校准方式是使带位置传感器的扫查装置至少移动100mm或焊接接头1个整圈，将检测设备所显示的位移和实际位移进行比较，其误差应小于1%。

A.4.8 耦合监控的设置

必要时可进行耦合监控，耦合监控的设置应符合11.5的规定。

A.5 检测数据的分析和解释

检测数据的分析和解释按第12条的规定执行。

A.6 缺陷定量

缺陷定量应符合第21条的规定。

A.7 缺陷评定和质量分级

A.7.1 公称厚度为3.5mm~6mm的小径管焊接接头的质量评定

A.7.1.1 根据对接接头存在的缺陷类型、缺陷波幅的大小以及缺陷的指示长度，缺陷评定为合格（Ⅰ级）和不合格两类（Ⅲ级）。

A.7.1.2 凡判定为裂纹、未熔合、根部未焊透及密集性的缺陷显示，评为Ⅲ级。

A.7.1.3 凡在判废线（含判废线）以上的缺陷显示，评为Ⅲ级。

A.7.1.4 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。

A.7.1.5 单个条形缺陷自身高度大于1/4壁厚的显示，评为Ⅲ级。

A.7.2 公称厚度大于或等于6mm~50mm的小径管焊接接头的质量评定

A.7.2.1 凡判定为裂纹、坡口未熔合、根部未焊透的缺陷显示，评为Ⅲ级。

A.7.2.2 凡在判废线（含判废线）以上的缺陷显示，评为Ⅲ级。

A.7.2.3 凡在评定线（不含评定线）以下的缺陷显示，评为Ⅰ级。

A.7.2.4 对于评定线以上、判废线（不含判废线）以下的缺陷显示评定：

- a) 对于安装和在制的钢制热壁加氢反应器小径管焊接接头应按照表A-5的规定进行评级；
- b) 对于在用钢制热壁加氢反应器小径管焊接接头按照表A-6的规定进行评级。
- c) 钢制热壁加氢反应器小径管焊接接头质量等级评定，如无特殊要求，按Ⅰ级执行。

表 A-5 钢制热壁加氢反应器小径管焊接接头质量分级方法一

单位为 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	≤t/3，最小可为8，最大为30	长度小于或等于焊缝周长的10%，且小于20
Ⅱ级	Ⅰ	≤60	—
	Ⅱ	≤2t/3，最小可为10，最大为40	长度小于或等于焊缝周长的15%，且小于30
Ⅲ级	Ⅰ	超过Ⅱ级者	
	Ⅱ		
注：母材厚度不同时，取薄侧厚度。			

表 A-6 钢制热壁加氢反应器小径管焊接接头质量分级方法二

单位为 mm

质量等级	工件厚度	单个缺陷						多个缺陷
		表面缺陷			埋藏缺陷			
		长度 lmax	高度 h3	若l>lmax缺陷高度 h1	长度 lmax	高度 h2	若l>lmax缺陷高度 h1	
I级	3.5≤t≤8	t	1.0	—	t	1.5	1.0	1) 若多个缺陷其各自高度h均为：h1<h≤h2或h3，则在任意12t范围内累计长度不得超过2t且最大值为50mm； 2) 对于单个或多个允许的表面缺陷，其最大累计长度不得
	8<t≤15	8	2.0	1.0	8	2.0	1.0	
	15<t≤40	15	2.5	1.5	15	2.5	1.5	
	40<t≤50	25	3	2.0	25	3.0	2.0	

								大于整条焊缝长度的5%且最长不得超过80mm
II级	$3.5 \leq t \leq 8$	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且最大值为80mm; 2) 对于单个或多个允许的表面缺陷, 其最大累计长度不得大于整条焊缝长度的10%且最长不得超过100mm
	$8 < t \leq 15$	t	2.0	1.0	t	2.0	1.5	
	$15 < t \leq 40$	t	2.5	1.5	t	3.0	2.0	
	$40 < t \leq 50$	40	2.5	1.5	40	4.0	2.5	
III级	3.5~50	超过II级者						
注: 母材壁厚不同时, 取薄侧厚度值。								

附录 B

(规范性)

异种金属焊接接头相控阵超声检测方法和质量分级

B.1 适用范围

本附录规定了工件厚度为 10mm~100mm 的异种金属焊接接头的相控阵超声检测方法和质量分级。

奥氏体不锈钢及镍基合金焊接接头的相控阵超声检测可参照执行

B.2 探头和人员的额外要求**B.2.1 探头**

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

B.2.2 检测人员

检测人员,应接受有关异种金属焊接接头相控阵超声检测方法的培训。对异种金属焊接接头的材料特性、焊接特性、焊缝组织及声学特性、窄脉冲 DLA 和 DMA 纵波相控阵探头的声场特性有一定了解。对检测中可能出现的问题能做出正确的分析、判断和处理。

B.3 检测工艺文件

B.3.1 焊接接头的相控阵超声检测工艺文件应满足第 4 条的要求,当规定的相关因素变化超出规定时,应重新修订或编制工艺规程。

B.3.2 操作指导书的工艺验证应在专用对比试块或模拟试块上进行,并符合第 5 条的规定。

B.4 专用对比试块

B.4.1 专用对比试块的制作要求应符合 9.2.3 的规定。

B.4.2 本附录所用试块为与工件材料相关的专用对比试块 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,如能满足仪器和探头调节、灵敏度设置及检测的要求,也可以采用其他型式(包括试块厚度)的等效专用对比试块。

B.4.3 专用对比试块 I

B.4.3.1 主要用于测量工件声速、探头声束出射点(前沿)、折射角(需与专用对比试块 II 配

合) 等的测量及检测声程范围调整, 试块所用材料应与被检工件材料相同或相似。

B.4.3.2 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。

B.4.3.3 试块形状和尺寸应符合图 B-1 和图 B-2 的规定, 也可按 CSK-IA 试块的形状进行设计制作。

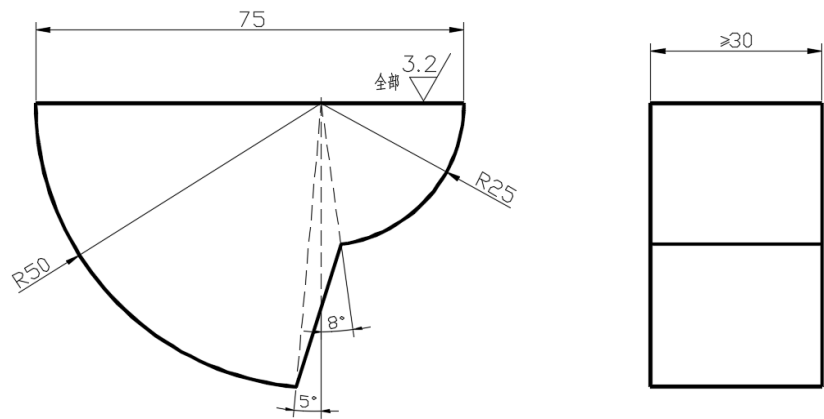


图 B-1 专用对比试块I (SSRB-I)

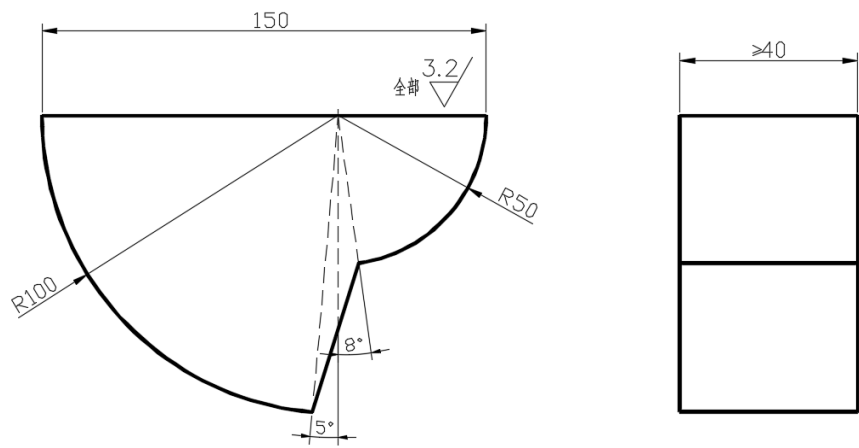


图 B-2 专用对比试块I-2 (SSRB-I-2)

B.4.4 专用对比试块II

B.4.4.1 专用对比试块II主要用于纵向缺陷基准灵敏度校准, 以及探头的声速、前沿和折射角的修正。

B.4.4.2 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异种金属焊接接头相同或相近，并采用同样的焊接工艺制成。若异种金属焊接接头的铁素体钢一侧坡口堆焊有隔离层，试块的铁素体钢一侧也应堆焊有隔离层（坡口位于隔离层上）。

B.4.4.3 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。

B.4.4.4 试块的形状（对接接头示意）和尺寸如图 B-3～图 B-6 所示，坡口上的参考反射体位置应根据实际焊缝确定。坡口上的反射体应布置在铁素体钢一侧的坡口。若异种金属焊接接头的铁素体钢一侧坡口堆焊有隔离层，坡口上的反射体应布置在焊接接头与隔离层的熔合线上。

- a) 图 B-3 对比试块适用于工件厚度范围为 10mm～20mm；
- b) 图 B-4 对比试块适用于工件厚度范围为 20mm～40mm；
- c) 图 B-5 对比试块适用于工件厚度范围为 40mm～80mm；
- d) 图 B-6 对比试块适用于工件厚度范围为 80mm～100mm。

B.4.4.5 试块上焊缝余高应去除至与母材平齐，并应在试块两个面分别标记出焊缝熔合线位置和焊缝中心线位置。

B.4.4.6 试块上设置了 4 个备用矩形槽，其长度和深度如图所示，宽度不大于 1mm，对于 V 型坡口的焊接接头，可在底面只加工 1 个中心部位矩形槽。

B.4.4.7 可根据实际检测需要在试块上添加其他参考反射体，如 V 型槽等，或采用其他型式的等效试块。

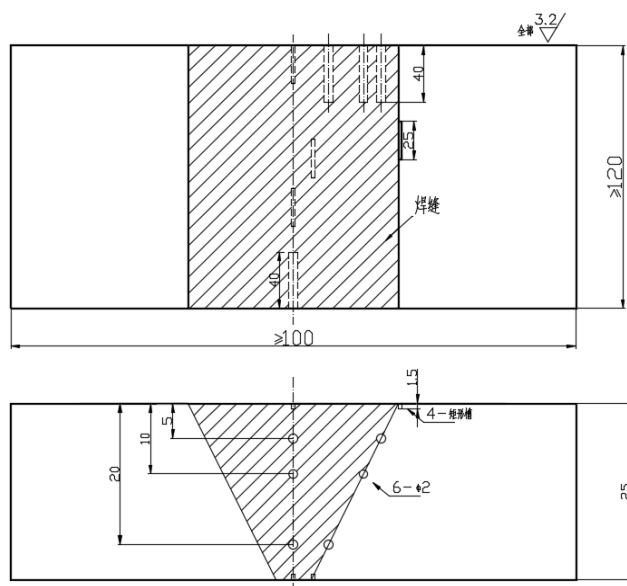


图 B-3 专用对比试块 II-2 (SSRB-II-2)

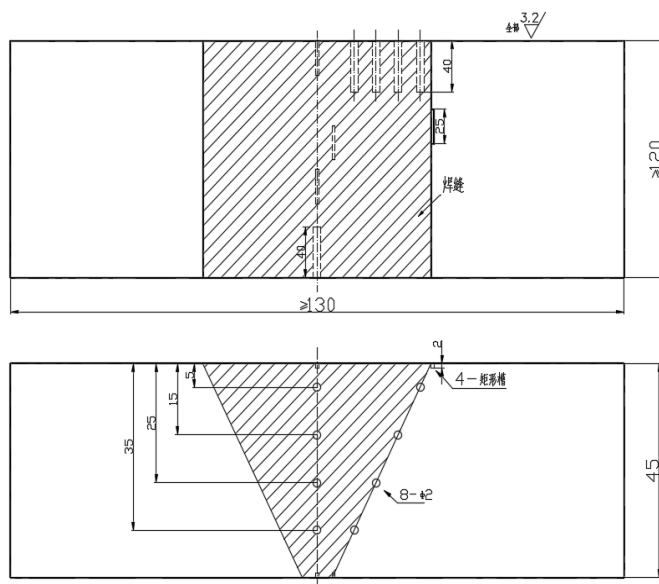


图 B-4 专用对比试块 II-3 (SSRB-II-3)

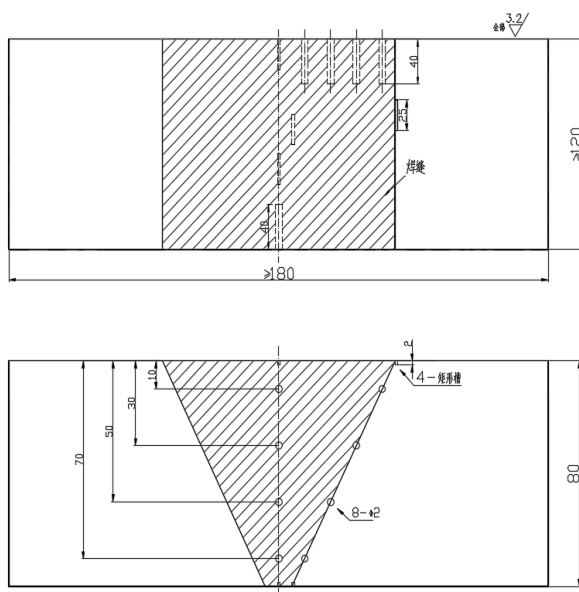


图 B-5 专用对比试块 II-4 (SSRB-II-4)

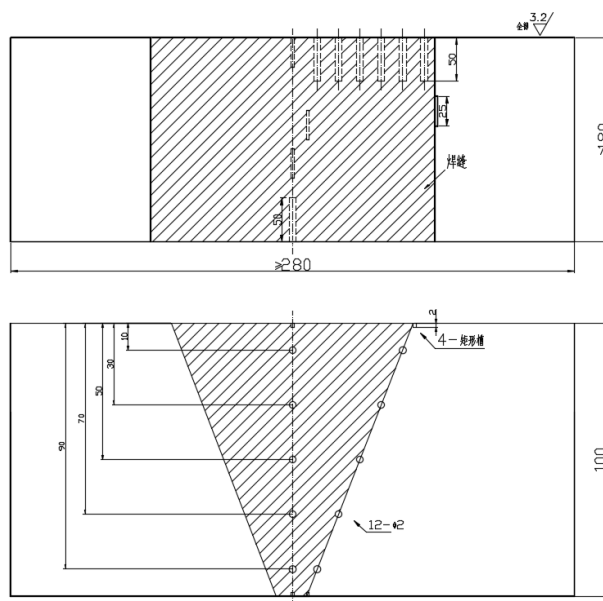


图 B-6 专用对比试块 II-5 (SSRB-II-5)

B.4.5 专用对比试块 III

B.4.5.1 专用对比试块 III 主要用于横向缺陷基准灵敏度校准。

B.4.5.2 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。若异种金属焊接接头的铁素体钢一侧坡口堆焊有隔离层，试块的铁素体钢一侧也应堆焊有隔离层（坡口位于隔离层上）。

B.4.5.3 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。为便于直探射法校验，不同深度的参考反射体可加工在不同的试块上。

B.4.5.4 试块的形状（对接接头示意）和尺寸如图 B-7～图 B-10 所示，坡口上的参考反射体位置应根据实际焊缝确定。应分别制作横孔通过异种金属焊接接头的铁素体钢一侧的试块和通过奥氏体钢一侧的试块。

- a) 图 B-7 对比试块适用于工件厚度范围为 10mm～20mm；
- b) 图 B-8 对比试块适用于工件厚度范围为 20mm～40mm；
- c) 图 B-9 对比试块适用于工件厚度范围为 40mm～80mm；
- d) 图 B-10 对比试块适用于工件厚度范围为 80mm～100mm。

B.4.5.5 试块上焊缝余高应去除至与母材平齐，并应在试块两个面分别标记出焊缝熔合线位置

和焊缝中心线位置。

B.4.5.6 试块上横孔通过焊缝区，但不应穿过一侧的焊缝熔合线，一般在距焊缝熔合线前1~2mm 停止。

B.4.5.7 试块上横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，一般最小不应小于 25mm。

B.4.5.8 试块上设置了 4 个备用矩形槽，其长度和深度如图所示，宽度不大于 1mm。

B.4.5.9 试块上的参考反射体根据检测需要可采取其他布置形式，或采用其他型式的等效试块。

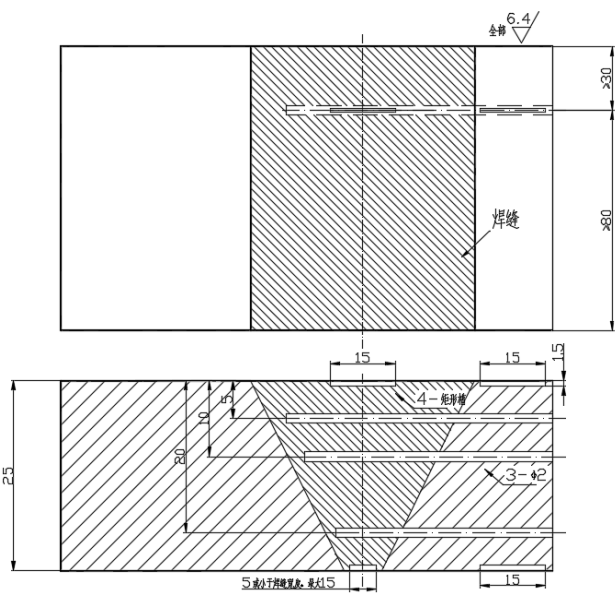


图 B-7 专用对比试块Ⅲ-2（SSRB-Ⅲ-2）

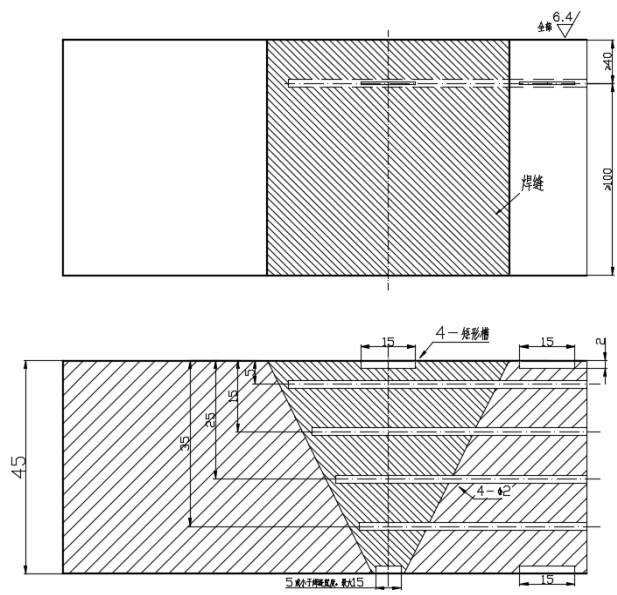


图 B-8 专用对比试块Ⅲ-3 (SSRB-Ⅲ-3)

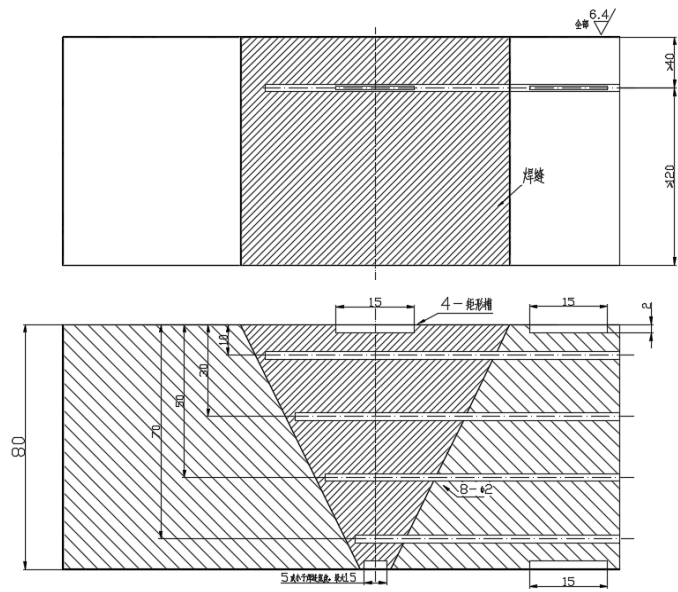


图 B-9 专用对比试块Ⅲ-4 (SSRB-Ⅲ-4)

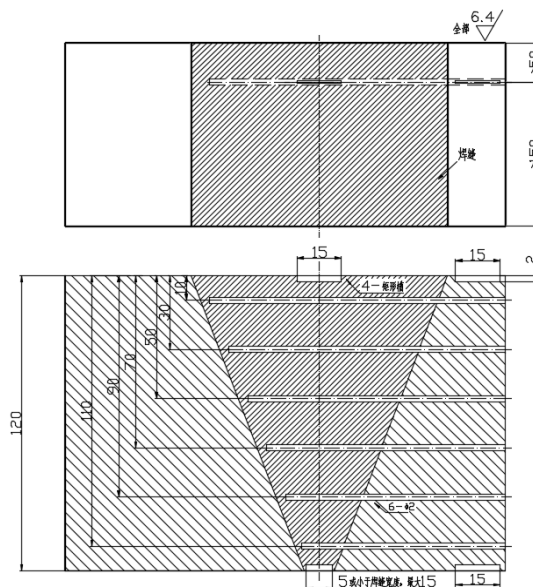


图 B-10 专用对比试块Ⅲ-5 (SSRB-Ⅲ-5)

B.4.6 用于工艺验证的专用对比试块

B.4.6.1 试块制作应符合 9.2.3 f) 的规定。

B.4.6.2 工件厚度小于等于 40mm 的焊接接头，应制作用于工艺验证的专用对比试块，或者制作模拟试块。

B.4.7 模拟试块

B.4.7.1 模拟试块的制作要求应符合 9.2.4.4 的规定。

B.4.7.2 对于工件厚度大于 40mm 的焊接接头，应制作模拟试块。

B.4.7.3 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。

B.5 检测系统设置

B.5.1 聚焦设置

根据检测厚度设定相应的延迟法则。厚度较大时，可分区扫查，各分区范围应相互覆盖不低于25%。表 B-1 给出了聚焦设置的推荐选择。

表 B-1 聚焦设置推荐

检测厚度t/mm	扇扫角度范围	聚焦深度/mm
10~30	40° ~70°	20
30~50	40° ~60°	40~50
50~100	35° ~60°	60~100
注：扇扫角度范围可选择楔块制造商推荐的角度范围。		

B.5.2 灵敏度设置

可选用 TCG 和 DAC 两种方式设置灵敏度。

B.5.3 距离-波幅曲线

B.5.3.1 焊接接头纵向缺陷检测时：

在异种金属焊接接头两侧进行检测时，从奥氏体钢侧检测使用试块焊缝对侧坡口熔合线横孔制作距离一波幅曲线；从铁素体侧检测使用试块焊缝中心线横孔制作距离一波幅曲线。

B.5.3.2 焊接接头横向缺陷检测时：

B.5.3.2.1 对焊缝热影响区横向缺陷检测（声束不穿过焊缝金属，平行于焊缝扫查），可使用专用对比试块Ⅲ母材上的系列横孔进行距离一波幅曲线制作。

B.5.3.2.2 在焊缝两侧使用斜平行扫查方法检测焊缝的横向缺陷时，应使用专用对比试块Ⅲ焊接接头中心位置的系列横孔反射波在双面分别进行距离一波幅曲线制作。

B.5.3.2.3 在焊缝上使用平行扫查方法检测焊缝的横向缺陷时，应使用专用对比试块Ⅲ焊接接头中心位置的系列横孔反射波在双面分别进行距离一波幅曲线制作。

B.5.3.2.4 当使用专用对比试块Ⅲ焊接接头中心位置的系列横孔反射波在双面分别进行距离一波幅曲线制作，并在双面实施检测时，可以不使用全深度横孔，但在双面检测时的深度范围或声程范围应有重叠。

B.5.3.2.5 当焊缝宽度较大时，如有必要，也可使用与焊缝宽度对应的位置在专用对比试块Ⅲ上进行距离一波幅曲线制作，并仅在对应位置实施横向缺陷检测和评定。

B.5.4 评定线（SL）至定量线（EL）以下区域为Ⅰ区；定量线至判废线（RL）以下区域为Ⅱ区；判废线及以上区域为Ⅲ区。判废线、定量线和评定线的灵敏度见表 B-2。

表 B-2 距离一波幅曲线灵敏度

工件厚度t/mm	T≤50	50<T≤100
判废线	φ2×40+3dB	φ2×40+6dB
定量线	φ2×40-2dB	φ2×40
评定线	φ2×40-8dB	φ2×40-6dB

B.5.2.3 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。

B.5.3 扫描方式

采用纵向垂直扫查+纵向平行扫查+扇形扫描的方式。

B.6 检测准备

B.6.1 检测区域

检测区域应包含焊缝本身宽度加上两侧各 10mm 的母材或实际热影响区（取较大值）。

B.6.2 检测面准备

B.6.2.1 在焊接接头的双面双侧实施一次波法（直射法）检测。受几何条件限制，只能在焊接接头单面或单侧实施检测时，应将焊接接头余高磨平，尽可能检测到整个检测区。

B.6.2.2 焊缝两侧的扫查装置移动区应清除焊接飞溅、铁屑、油垢及其他杂质。去除余高的焊缝，应将余高打磨到与邻近母材平齐。

B.6.3 检测标识

参照 19.2 执行。

B.6.4 横向缺陷检测

B.6.4.1 保留余高的焊缝，可在焊缝两侧边缘使斜探头与焊接接头中心线成不大于 10° 角的纵向倾斜扫查，见图 B-11a）。

B.6.4.2 去除余高的焊缝，将探头置于焊接接头表面作两个方向的纵向平行扫查，见图 B-11b）。

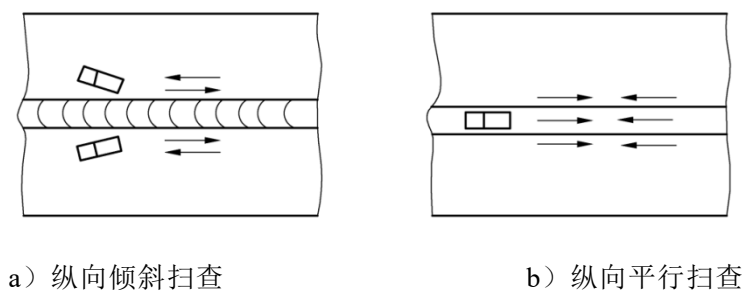


图 B-11 纵向倾斜扫查和纵向平行扫查

B.7 缺陷的评定

缺陷的评定按第 12 条的规定执行。

B.8 质量分级

B.8.1 凡判定为裂纹、坡口未熔合及未焊透等危害性的缺陷显示，评为Ⅲ级。

B.8.2 评定线以下的缺陷均评为Ⅰ级。

B.8.3 焊接接头质量分级按表 B-3 的规定执行。

B.8.4 焊接接头质量等级评定，如无特殊要求，按Ⅰ级执行。

表 B-3 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	允许的单个缺陷指示长度/mm
Ⅰ级	10~80	I	≤40
		II	$L \leq t/3$ ，最小可为10
Ⅱ级	10~80	I	≤60
		II	$L \leq 2t/3$ ，最小为12，最大不超过40
Ⅲ级	10~80	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

附录 C

（资料性）

焊接接头全聚焦相控阵超声检测

C.1 适用范围

C.1.1 本附录规定了钢制热壁加氢反应器焊接接头的全聚焦相控阵超声检测方法。

C.1.2 本附录适用于工件厚度为 6mm~150mm 的碳钢、低合金钢以及工件厚度为 6mm~80mm 的奥氏体不锈钢、镍基合金钢的焊接接头。

C.1.3 对于与热壁加氢反应器有关的支撑件和结构件的检测可参照本附录执行。

C.2 引用标准

JB/T 11731 无损检测 超声相控阵探头通用技术条件

JB/T 11779 无损检测仪器 相控阵超声检测仪技术条件

C.3 术语和定义

C.3.1 全矩阵采集（FMC） full matrix capture

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。

C.3.2 平面波激发（PWI） plane wave imaging

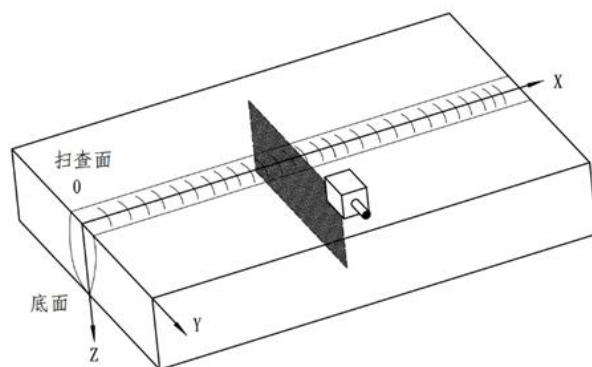
同时激发超声阵列探头的所有阵元，全部阵元接收声场回波信号后所获得的采集数据。

C.3.3 全聚焦（TFM） total focusing method

基于全矩阵采集或全激发平面波所得到的数据的处理方法，根据延迟法则对目标网格化成像区域内的每一个网格进行聚焦计算。

C.3.4 全聚焦 2D 型显示 total focusing method 2D-display

对设定的二维（Y×Z）检测目标区域采用全聚焦计算并显示，图像中的 Y 坐标表示扫描的宽度，Z 坐标表示扫描的深度。焊缝检测时，全聚焦 2D 型显示表示探头前方焊缝的横截面信息，如图 C-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 C-1 焊缝检测全聚焦 2D 型显示

C.3.5 全聚焦 3D 型显示 total focusing method 3D-display

对设定的三维（ $X \times Y \times Z$ ）检测目标区域采用全聚焦计算并显示，图像中的 X 坐标表示扫描的长度，Y 坐标表示扫描的宽度，Z 坐标表示扫描的深度。焊接接头检测时，全聚焦 3D 型显示表示探头前方焊缝三维检测目标区域的信息，如图 C-2 所示。

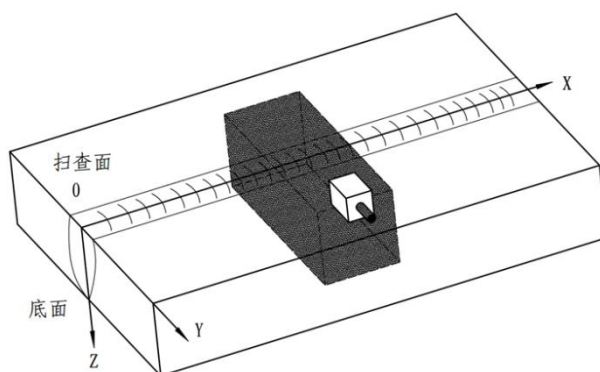


图 C-2 焊接接头检测全聚焦 3D 型显示

C.3.6 全聚焦 3D 目标区 total focusing method 3D target area

在进行全聚焦 3D 连续记录扫查时，初始设定的 3D 检测目标区域。其 X 方向尺寸一般取探头孔径的一半，Y 方向尺寸取焊缝宽度加上两侧热影响区宽度，Z 方向尺寸一般取母材厚度，如图 C-3 所示。

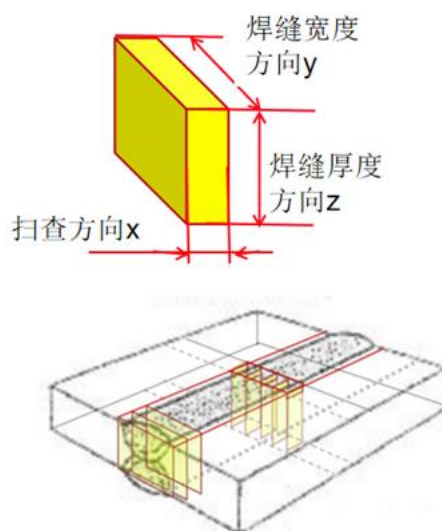


图 C-3 全聚焦 3D 目标区

C.3.7 全聚焦声场 total focusing method 3D target area

全聚焦超声系统通过 FMC-TFM 过程施加于某一体积（目标区）超声能量分布。

C.4 一般要求

C.4.1 检测人员

检测人员除满足 8.1 的要求外，还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。

C.4.2 检测设备

C.4.2.1 仪器

C.4.2.1.1 全聚焦相控阵超声检测仪分为 2D 全聚焦相控阵超声检测仪和 3D 全聚焦相控阵超声检测仪。

C.4.2.1.2 2D 全聚焦相控阵超声检测仪能够支持全聚焦 2D 型显示，并行硬件通道推荐不少于 16 通道，聚焦点数目推荐不少于 65536 点，能够对成像结果进行分析测量。

C.4.2.1.3 3D 全聚焦相控阵超声检测仪能够支持全聚焦 3D 型显示，并行硬件通道推荐不少于 64 通道，聚焦点数目推荐不少于 65536 点，能够对成像结果进行分析测量，能够提供 B、C、D 型显示。

C.4.2.1.4 仪器的其他指标满足附录 B 的要求，测试方法按 JB/T 11779 的规定。

C.4.2.2 探头

C.4.2.2.1 阵列探头的标称频率范围一般为 1MHz~10MHz，阵元数目推荐不少于 32 个。

C.4.2.2.2 探头的其他指标满足附录 C 的要求，测试方法按 JB/T 11731 的规定。

C.4.2.3 仪器和探头的组合性能

C.4.2.3.1 以下情况应测定仪器和探头的组合性能：

- a) 新购置的全聚焦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。

C.4.2.3.2 2D 全聚焦相控阵超声检测仪推荐采用标称频率为 5MHz 线阵相控阵超声探头，全聚焦 2D 型显示图像的横向分辨力（Y 坐标方向）和纵向分辨力（Z 坐标方向）应不大于 2mm。

C.4.2.3.3 3D 全聚焦相控阵超声检测仪推荐采用标称频率为 5MHz 的线阵或矩阵相控阵超声探头，全聚焦 3D 型显示图像的侧向分辨力（X 坐标方向）、横向分辨力（Y 坐标方向）、纵向分辨力（Z 坐标方向）应不大于 2mm。

C.4.2.3.4 检测仪器、探头及其组合性能的要求及测试方法参考 4.2.2.3 的规定。

C.5 检测

C.5.1 波形选择

碳钢、低合金钢焊接接头一般采用横波检测；奥氏体不锈钢焊接接头一般采用纵波检测。

C.5.2 工艺参数选择

C.5.2.1 频率

根据焊接接头的材质衰减和噪声情况选择频率。使用横波检测碳钢和低合金钢时，一般可选择 5MHz；对厚度大于 70mm 的工件，或材质衰减较大的工件，也可选择 2.5MHz。

C.5.2.2 探头阵元数量和尺寸

C.5.2.2.1 一般情况下探头阵元数量和尺寸根据工件厚度、材质、声场能量等进行选择。

C.5.2.2.2 当使用 $4 \times 8 \times 2$ 矩阵探头时，对于碳钢、低合金钢焊接接头，推荐阵元尺寸为 $1.5\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ ；对于奥氏体不锈钢焊接接头，推荐阵元尺寸为 $3.0\text{mm} \times 3.0\text{mm}$ 。

C.5.2.3 声束折射角度

C.5.2.3.1 根据工件厚度，并参考校准试块上声场分布情况选择角度。

C.5.2.3.2 一般情况下，厚度 $6\text{mm} \sim 40\text{mm}$ 推荐使用 60° ；厚度大于 $40\text{mm} \sim 100\text{mm}$ 推荐使用 55° ；厚度大于 $100\text{mm} \sim 150\text{mm}$ 推荐使用 45° 。

C.5.2.4 目标区尺寸设置

C.5.2.4.1 根据焊缝尺寸和探头孔径确定目标区三维尺寸。X 方向尺寸一般取探头孔径的 $1/2$ ，当孔径较大时也可取 $1/4$ ；Y 方向尺寸取焊缝宽度加两侧热影响区宽度，热影响区宽度的取值应满足第 6 章的相关规定；Z 方向尺寸一般取母材厚度，当在厚度方向采用分区扫查时，应按分区尺寸分别取值。

C.5.2.4.2 目标区尺寸应能覆盖整个被检区域，当设定的目标区尺寸不能一次覆盖整个被检区域时，应采用多次扫查方式保证被检区域的完全覆盖。

C.5.2.5 显示方式

采用位置编码器定位进行检测数据全程记录时，推荐提供 C 型显示图像、D 型显示图像。

C.5.3 检测系统校准试块

C.5.3.1 碳钢和低合金钢焊接接头检测校准试块推荐参考第 5 章的要求。

C.5.3.2 奥氏体不锈钢焊接接头试块结构与制作推荐参考附录 B 的 B.4 的有关要求。

C.5.4 检测系统校准与工艺验证

C.5.4.1 检测系统校准包括增益校准、角度—增益校准（ACG）、距离—增益校准（TCG）。信号采集过程的探头位移见图 C-4。

C.5.4.2 信号采集完毕后，启动仪器系统的校准程序完成校准。

C.5.4.3 工艺验证是指校准完毕，对仪器系统保存的试块上对应于检测区域内的所有反射体信号

逐个进行确认，保证信噪比大于 6dB。

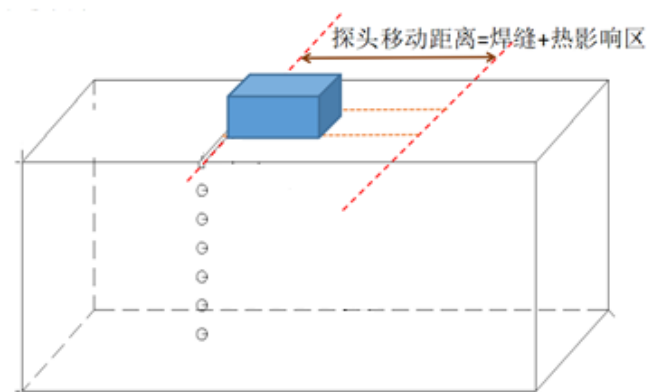


图 C-4 检测校准信号采集过程示意图

C.5.5 检测扫查步进设置

扫查步进值选择与工件厚度有关，见表 C-1。

表 C-1 扫查步进最大值与焊缝厚度的关系

工件厚度 t/mm	扫查步进最大值 $\Delta X_{\text{max}}/\text{mm}$
$t \leq 20$	1.0
$20 < t \leq 150$	2.0

C.5.6 检测扫查方式选择

C.5.6.1 检测采用纵向垂直扫查，探头移动方向垂直于声束方向，见图 C-5。

C.5.6.2 对于厚度较小、焊缝宽度较小的工件，可采用从焊缝一侧扫查的纵向垂直扫查方式。

C.5.6.3 对焊缝宽度较大，工艺验证表明从一侧扫查不能覆盖上表面盲区的工件，可采用从焊缝两侧扫查的纵向垂直扫查方式。

C.5.6.4 对于厚度较大的焊接接头检测，若需采用分区扫查，可采用距焊缝不同距离的多次纵向垂直扫查，应保证相邻深度区域的覆盖。

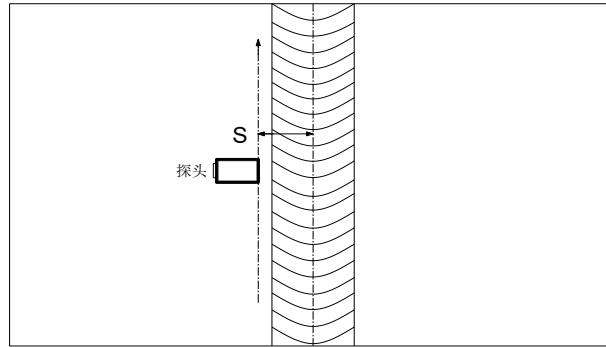


图 C-5 纵向垂直扫查

C.5.7 增益补偿

如果实际工件与校准试块的差异较大，应考虑增益补偿。

C.5.7.1 耦合补偿：对表面粗糙度不同引起的耦合损失进行补偿。

C.5.7.2 衰减补偿：对材质衰减不同引起的检测灵敏度下降和缺陷定量误差进行补偿。

C.5.7.3 曲面补偿：对曲率半径不同引起的耦合损失进行补偿。

C.5.8 检测数据采集

C.5.8.1 数据是基于扫查步进的设置而采集的。

C.5.8.2 采集的数据量应满足所检测长度的要求。

C.5.8.3 数据丢失量不得超过整个扫查长度的 3%，且不允许相邻数据连续丢失。

C.5.8.4 扫查图像中耦合不良不得超过整个扫查的 3%，单个耦合不良长度不得超过 2mm。

C.6 评定

全聚焦显示图像通过测量显示缺陷的位置、长度、深度、高度等相关信息，结合本文件的相关验收要求进行评定。

团体标准

热壁加氢反应器的相控阵超声检测技术要求

编制说明

（征求意见稿）

一重集团大连核电石化有限公司

（2026 年 01 月）

热壁加氢反应器的相控阵超声检测技术要求

一、任务来源

《热壁加氢反应器的相控阵超声检测技术要求》（T/CASEI XXX-XXXX）团体标准编制项目来源于一重集团大连核电石化有限公司，以 NB/T47013 标准为蓝本，适用于热壁加氢反应器产品。

本标准立项名称为《热壁加氢反应器的相控阵检测技术要求》，为与国家、行业标准的技术名称保持一致，经起草组讨论，名称修改为《热壁加氢反应器的相控阵超声检测技术要求》。

二、主要工作单位、工作成员及负责内容

本标准由一重集团大连核电石化有限公司提出，中国特种设备检验协会归口管理，由一重集团大连核电石化有限公司负责和组织起草，为提高标准应用的广泛性，国内相关特种设备设计、制造、安装和检测单位参与了标准的编写和讨论。

研究工作由一重集团大连核电石化有限公司牵头承担，中国特种设备检测研究院、浙江省特种设备科学研究院、中国神华煤制油化工有限公司鄂尔多斯煤制油分公司、中国科学院声学研究所、大连理工大学、航天科工防御技术研究试验中心、中国石化工程建设有限公司、中石油华东设计院有限公司、中石化广州工程有限公司、森松（江苏）重工有限公司、广州特种设备检测研究院、大连锅炉压力容器检验检测研究院有限公司、江苏省特种设备安全监督检验研究院、北京市朝阳区特种设备检测所、国能锅炉压力容器检验有限公司、吉林市特种设备检验中心、齐齐哈尔市检验检测中心、瀚洋重工装备制造（天津）有限公司、中国石油天然气股份有限公司吉林石化分公司、天津市特种设备监督检验技术研究院、中广核工程有限公司、北京邹展麓城科技有限公司参与，组成标准编写组。

本部分参编人员有：赵振南、原可义、胡建胜、胡庆斌、程明、乔瀚宇、周凤革、廉国选、罗忠兵、张国强、尹青峰、谢育辉、张国信、江雁山、汪文锋、王浩然、丁小平、程红伟、郝晓军、王德林、谭锡铉、包国平、丁武仁、刘恽欢、邹国伟、李剑峰等。

三、 编制过程

2023 年 7 月—10 月：开展行业调研，收集热壁加氢反应器制造、检测及案例数据，梳理 NB/T47013 与实际应用的适配性问题，明确标准编制重点；

2023 年 11 月—12 月：完成并提交标准立项申请书；

2024 年 01 月—12 月：编制热壁加氢反应器的相控阵检测技术要求团体标准初稿；

2025 年 1 月—6 月：内部研讨，完善修订；

2025 年 12 月：根据函审意见，修改标准草案；召开无损检测标准编写组第二次会议，根据无损检测标准编写组第二次会议意见，修改标准草案；

2026 年 1 月—3 月：根据意见完成标准修改，形成标准的征求意见稿，提报协会。

四、主要技术内容的说明

4.1 编制原则

本标准遵照 NB/T47013 的整体要求，充分结合国内热壁加氢反应器的结构特点、检测要求、验收标准，聚焦检测实操性，明确 NB/T47013 适用于热壁加氢反应器的试块选型、工艺参数设置、缺陷评定等环节的具体要求，满足检测需求。

统一标准草案编制过程中，对于术语和定义、检测人员资格、设备和器材等内容应遵照国内现行法规或标准的相关规定。

4.2 主要内容

(1) “热壁加氢反应器相控阵超声检测技术要求”主要是在 NB/T 47013.15-2021《承压设备无损检测第 15 部分：相控阵超声检测》标准的焊接接头相控阵

超声检测的基础上，并融合热壁加氢反应器各设计院的技术条件的部分内容，并参考和借鉴了国内工程实践中的经验反馈进行编制。

- (2) 第 1 部分范围：明确适用范围，主要针对热壁加氢反应器的焊接接头进行相控阵超声检测，并根据热壁加氢反应器的结构特点，明确相控阵超声检测的使用适用范围。
- (3) 第 2 部分规范性引用文件：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的内容与结构明确标准中的引用文件，并增加 API RP 934-A。
- (4) 第 3 部分术语和定义：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的内容，主要描写了焊接接头相控阵超声检测的术语和定义，其中坐标定义中明确了接管内壁直探头检测时坐标方向，并增加接管内壁的纵向垂直格栅扫查术语定义；
- (5) 第 4 部分工艺文件：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的内容，检测工艺文件包括工艺规程和工艺卡（操作指导书）。
- (6) 第 5 部分工艺验证：参照了 NB/T 47013.15-2021、NB/T 47013.3-2023 中的内容，明确了热壁加氢反应器焊接接头检测工艺验证适用于 B 级检测和 C 级检测，只能使用专用对比试块或模拟试块进行工艺验证。
- (7) 第 6 部分相控阵超声检测的一般程序：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的内容，明确相控阵超声检测的程序内容。
- (8) 第 7 部分环境与安全要求：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的内容，明确相控阵超声检测的环境与安全要求。
- (9) 第 8 部分一般要求：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构和内容，描述了人员、仪器、探头、扫查装置等一般要求。
- (10) 第 9 部分试块：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构和内容，描述了标准试块、通用对比试块、专用对比试块、模拟试块探头的一般要求。其中，明确了对比试块应采用与被检工件材料声学性能相近的材料制作，同时明确带有堆焊层的对比试块要求、接管内壁直探头检测时试块的形式等。
- (11) 第 10 部分工艺参数设置的一般原则：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构

和内容，描述了相控阵超声检测工艺设置的一般原则，其中，明确 B 级检测和 C 级检测时扇扫角度步进值及分区扫查时的步进值。

(12)第 11 部分检测实施的一般原则：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构和内容，描述了相控阵超声检测检测实施的一般原则，其中，明确 A 类接管焊接接头扫查内壁时的实施方式及扫查横向再热裂纹时的实施方式。

(13)第 12 部分检测图像和检测数据的一般要求：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构和内容，描述了相控阵超声检测检测检测图像和检测数据的一般要求。

(14)第 13 部分检测系统的复核：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构和内容，描述了相控阵超声检测检测系统的复核的要求。

(15)第 14 部分检测时机：强调检测时机应符合相关法规、规程、产品标准及技术条件，同时也强调再热裂纹检查的时机。

(16)第 15 部分检测技术等级：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构和内容，明确了热壁加氢反应器焊接接头检测技术等级要求。

(17)第 16 部分不同类型焊接接头的检测要求：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构和内容，明确了热壁加氢反应器焊接接头检测不同技术等级所采用的扫查要求。

(18)第 17 部分聚焦设置：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构和内容，描述了相控阵超声检测聚焦设置的要求。

(19)第 18 部分检测系统的调试：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构和内容，描述了相控阵超声检测检测系统的调试要求。

(20)第 19 部分检测区域：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构和内容，强调扫查区域的表面粗糙度要求。

(21)第 20 部分母材的检测：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构和内容，强调母材直探头检测应在报告上进行记录，但不属于对母材的验收检测。

(22)第 21 部分缺陷定量：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构和内容，描述了

相控阵超声检测缺陷定量方式。

- (23)第 22 部分缺陷的评定和质量分级：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构和内容，描述了相控阵超声检测缺陷的评定和质量分级，明确热壁加氢反应器焊接接头的相控阵超声检测按照 I 级验收。
- (24)第 23 部分检测记录和报告：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构和内容，描述了检测记录和报告的要求。
- (25)附录 A 钢制热壁加氢反应器小径管焊接接头相控阵超声检测：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构和内容，描述了钢制热壁加氢反应器小径管焊接接头相控阵超声检测的要求。
- (26)附录 B 异种金属焊接接头相控阵超声检测方法和质量分级：参照了 NB/T 47013.15-2021、NB/T 47013.3 的结构和内容，结合热壁加氢反应器的结构特点及国内工程实践，描述了异种钢焊接接头相控阵超声检测方法和质量分级。
- (27)附录 C 焊接接头全聚焦相控阵超声检测：参照了 NB/T 47013.15-2021 中的结构和内容，描述了焊接接头全聚焦相控阵超声检测的要求。

五、与国内同类标准水平的对比分析

本标准主要参照 NB/T47013.15-2021、API RP 934-A 进行编制，同时参考了国内外标准的应用经验，技术要求与 NB/T 47013.15-2021 技术水平相当。

六、与现行法规、标准的关系

本标准是以中华人民共和国特种设备安全法为基本依据，主要体现在人员资质应满足相应法规的要求。本标准可为热壁加氢反应器在制造阶段中有关焊缝类相控阵超声检测标准提供技术支撑，通常热壁加氢反应器的相控阵超声检测可直接引用本标准的检测方法和质量分级要求，也可在其标准中添加特殊的要求和更具体的规定。

另外，本标准所引用的有关无损检测设备和器材方面的标准，以及具体专用检测方法类标准，主要是以国内标准为主，这主要是考虑到今后标准的使用和推

广，适应各类设备逐渐实现全部国产化的要求。

本标准主要参照 NB/T47013.15-2021、API RP 934-A 进行编制。

七、实施标准的要求和措施的建议

本标准其给出的方法要求、技术要求等应除一般的通用性的要求外，结合了热壁加氢反应器的工程经验，已根据工件易产生的缺陷类型、设计使用要求、工作环境、工件的结构尺寸等因素综合考虑，确定了相应的检测技术参数和相关要求。

本标准规定了缺陷（显示）记录评定和质量分级的要求，验收标准亦在标准中给出。

八、参考资料清单

GB/T 12604.1	无损检测 术语 超声检测
GB/T 11259	无损检测 超声检测用钢参考试块的制作和控制方法
GB/T 29302	无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验
GB/T 32563	无损检测 相控阵超声检测方法
JB/T 8428	无损检测 超声试块通用规范
JB/T 11731	无损检测 超声相控阵探头通用技术条件
JB/T 11779	无损检测仪器 相控阵超声检测仪技术条件
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 47013.15-2021	承压设备无损检测 第 15 部分：相控阵超声检测
API RP 934-A	高温高压氢用 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo、2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo - $\frac{1}{4}$ V、3Cr-1Mo、3Cr-1Mo- $\frac{1}{4}$ V 钢制厚壁压力容器的材料与制造要求