

团 体 标 准

T/CPASE XX XXX—2022

管子管板角接接头相控阵超声检测

Phased array ultrasonic testing technology

for tube to tube Sheet fillet joints

(征求意见稿)

2022-XX-XX 发布

2022-XX-XX 实施

中国特种设备安全与节能促进会 发布

目 录

前言 (略)	错误!未定义书签。
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本要求	3
4.1 检测人员	3
4.2 检测设备	3
4.3 检测探头	4
4.4 检测试块	4
4.5 耦合剂	4
4.6 对角接头设计、制造、检验要求	4
5 工艺准备	5
5.1 检测工艺参数选择	5
5.2 检测系统校准	5
5.3 检测工艺鉴定试验	5
6 检测前的检查和检测时机选择	6
6.1 检测前对工件的检查	6
6.2 检测时机	6
7 数据采集过程	6
8 数据判读	7
9 焊缝质量评定与分级	7
9.1 角接头质量评定准则与焊喉尺寸测量方法	7
9.2 质量等级评定	8
10 检测记录和报告	8
附录 A (规范性附录) 换热器管子管板角接头类型、结构与特征参数	9
附录 B (规范性附录) 换热器管子管板角接头相控阵超声检测校准试块	10
附录 C (规范性附录) 换热器管子管板角接头相控阵超声检测焊喉尺寸测量方法	11
附录 D (资料性附录) 对管子管板角接头结构、形状、尺寸和外形的要求	15
附录 E (资料性附录) 管子管板角接头相控阵超声检测记录表格	16
附录 F (资料性附录) 管子管板角接头相控阵超声检测报告表格	17

管子管板角接接头相控阵超声检测

1 范围

本标准规定了管子管板角接接头相控阵超声检测的方法和技术要求，工艺参数及焊缝质量评级。

本标准适用于管壳式换热器、反应器、空冷器、废热锅炉、急冷器等（以下通称换热器）管子管板角接接头检测，包括制造阶段的在制产品的检测，以及使用阶段的在役设备的检测。

适用的换热管的规格尺寸：内径 19-74mm，厚度 2-8mm。对角接接头的结构要求包括：管子端面不得低于管板；坡口深度不得小于 1mm 且坡口深度+焊脚高度不小于管子壁厚的 1.2 倍；焊后管子端面不得全部熔化，管内壁不得明显变形。用于制作焊接接头的金属材料为碳素钢、低合金钢、奥氏体不锈钢、镍及镍合金、钛及钛合金、铜及铜合金等。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 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 超声检测 相控阵超声检测方法

NB/T 47013.1 承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求

NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测

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

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

3 术语和定义

GB/T32563 规定的名词术语，以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

Q 类角接接头 Q-fillet joint

管子伸出管板长度 $x \geq 0\text{mm}$ ，坡口深度 z +焊脚高度 $x_1 \geq 1.2 t$ （ t 为管子壁厚）的角接接头，其结构、特征参数及取值范围见附录 A。该类角接接头容易形成较大焊喉，有利于提高焊接合格率；焊后管子内壁没有熔化和变形，有利于相控阵检测扫查。

3.2

D 类角接头 **D-fillet joint**

管子伸出管板长度 $x < 0\text{mm}$ ，管子端面低于管板的角接头，其结构、特征参数及取值范围见附录 A。该类角接头形成的焊喉较小，对焊接合格率不利；焊后管子端面和内壁熔化，对相控阵检测扫查不利。

3.3

焊喉尺寸 δ **welding throat size δ**

角焊缝剖面上阻隔管程和壳程间泄漏的焊缝金属的最小厚度，是相控阵检测评级的关键参量，其测量与取值见附录 A，从相控阵图谱上测量的方法见附录 C。

3.4

圆形缺陷 **spherical flaw**

模型为一个球，包括长宽比不大于 3 的气孔、夹渣和夹钨等缺陷。圆形缺陷影响焊喉尺寸的主要参数是直径，其直径按缺陷波幅当量测量结果为准。

3.5

条形缺陷 **strip flaw**

模型为一个细长的圆柱，包括长宽比大于 3 的气孔、夹渣和夹钨等缺陷。条形缺陷影响焊喉尺寸的主要参数是高度，其高度以图谱上指针测量的结果为准。

3.6

根部缺陷 **root flaw**

位置在焊缝根部的缺陷，包括根部咬边、根部未焊透、根部未熔合。根部缺陷影响焊喉尺寸的主要参数是缺陷上端点位置。

3.7

时间增益修正 (TCG) **time corrected gain**

对同一角度上不同声程处相同尺寸反射体的回波进行增益修正，使之达到相同幅值。

3.8

D 型显示 **D-display**

管子管板角接头剖开后的焊缝端面投影，图中横坐标表示水平距离，纵坐标表示深度（见图1）。

3.9

G 型显示 **G-display**

通过映射原理形成的管子管板角接接头整圈焊缝俯视平面的投影，采用极坐标标注（见图2）。

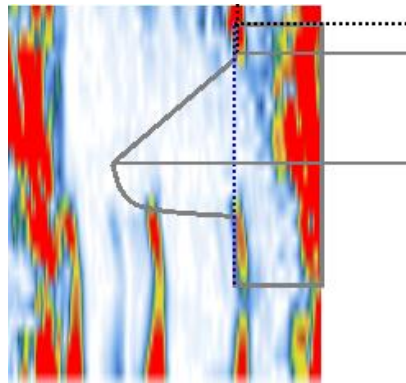


图 1 管子管板角焊缝角焊缝的 D 型显示

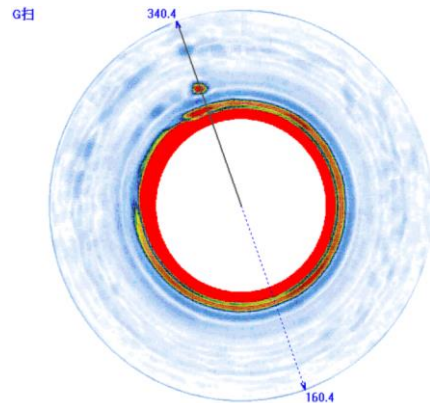


图 2 管子管板角焊缝角焊缝的 G 型显示

4 基本要求

4.1 检测人员

4.1.1 从事管子管板角接接头相控阵超声检测的人员，应按照国家的相关规定取得相应检测资格。持有相控阵超声检测 I 级及以上资格证书的人方可实施扫查操作，持有相控阵超声 II 级资格证书的人方可进行数据评定和检测报告编制。

4.1.2 从事管子管板角接接头相控阵超声检测操作的人员应经过管子管板角接接头相控阵超声仪器系统和扫查系统操作的专门培训，了解换热器的基本结构、管子管板角接接头的类别、型式和特点，同时熟悉本规范的有关规定。

4.1.3 从事管子管板角接接头相控阵超声检测数据评定的人员应经过管子管板角接接头相控阵超声数据评定的专门培训，了解换热器的基本结构和有关设计、制造知识，管子管板角接接头的类别、型式和特点，掌握超声向不同方向投射生成的 B/C/D/G 扫描图的关联关系，以及图像分析技能和测量技能，同时熟悉本规范的各项规定。

4.2 检测设备

4.2.1 管子管板角接接头相控阵超声检测仪器应满足的有关产品标准规定，有产品合格证。应在管子管板角接接头校准试块和模拟试件上对仪器进行测试，证明其性能满足管子管板角接接头检测要求。

4.2.2 管子管板角接接头相控阵超声检测扫查器应保证扫查过程转动平稳，耦合良好；采集数据时转动一圈的角度范围应 $>360^\circ$ ，以保证图谱中所采集数据终点能覆盖起点。

4.2.3 管子管板角接接头相控阵超声检测系统应能显示 A、B、C 扫描图。为提高数据评定效率，准确对缺陷定位、定量和定性，建议配置专用离线分析软件。离线软件应具备显示叠加焊缝坡口的 D 扫描图，以及显示缺陷周向方位的 G 扫描图等功能。

4.3 检测探头

4.3.1 用于管子管板角接接头相控阵超声探头应满足有关产品标准规定。应对探头进行测试，证明其性能指标满足检测要求。

4.3.2 探头孔径应能保证线扫描采集信号范围覆盖角接接头从焊脚到根部的全部，另加 3mm。

4.3.3 探头楔块曲率应与管子内径匹配，其高度应能保证有效探测声程大于管子壁厚+焊缝宽度+3mm。

4.3.4 采用水浸法检测时，水层厚度应能保证有效探测声程大于管子壁厚+焊缝宽度+3mm。

4.4 检测试块

4.4.1 管子管板角接接头相控阵超声检测试块包括校准试块和模拟试件。

4.4.2 专用校准试块见附录 B，其形状为圆筒形，其内径等于管子内径，在试块上代表焊缝根部位置和焊缝表面熔合线位置加工直径 $\phi 1\text{mm}$ 平底孔，用于增益设置、位置校准和探测范围标定。只要能保证增益设置、位置校准和声程标定的正确性，允许使用其他形状的校准试块。

4.4.3 模拟试件采用焊接方法制作，其外形尺寸、材质、焊接坡口型式、焊接工艺应与实际工件一致，应在试件中设计若干缺陷，可以是焊接缺陷，也可以是机加工缺陷。模拟试件的用途是进行工艺鉴定，内容包括扫查系统有效性鉴定、工艺有效性鉴定、检测灵敏度和测量精度鉴定、人员操作技能鉴定等。

4.5 耦合剂

4.5.1 当使用凝胶作为耦合剂时，应保证其无毒，对工件没有腐蚀。

4.5.2 当用水作为耦合剂时，应采取措施防止腐蚀发生，例如添加防锈剂，或检测后立即清理干净。

4.5.3 允许使用其他类型的耦合剂，例如机油、化学浆糊等。

4.6 对角接接头设计、制造、检验要求

4.6.1 管子管板角接接头的焊接应严格执行有关标准和工艺文件规定，焊接完成的角接接头的形状、尺寸和外形应满足本标准附录 A 和附录 D 的有关要求。

4.6.2 管子管板角接接头焊接完成后，制造方应对焊缝外观进行检查，测量焊脚高度尺寸并作记录，对出现塌腰、焊脚高度不够的焊缝应采取补焊措施，以避免对焊喉尺寸造成不利影响。

4.6.3 对检测时已无法进行焊缝外观检查的产品（例如空冷器），制造方应向检测方提供角接接头外观检

查报告。报告中应描述角接头外形检验情况，对塌腰、焊脚高度不够的修理情况，并给出焊脚高度、焊缝宽度的测量数据，以及外观检查合格的结论。

5 工艺准备

5.1 检测工艺参数选择

5.1.1 从管子内壁扫查焊缝是最有利的检测位置，这样不仅声束容易覆盖焊缝全体积，而且探测距离近，灵敏度和信噪比高，衰减小，干扰信号少。

5.1.2 采用 0° 波束垂直入射是最有利的检测角度，该角度与焊缝深度方向的面积型缺陷（裂纹和未熔合）垂直，从而能够保证对各种缺陷的高检出率。另一方面，从该角度检测能够精确测量出焊喉尺寸，以及裂纹、未熔合、未焊透等缺陷的高度。

5.1.3 根据工件的型式、材质、规格尺寸，垂直入射的管子管板角接头相控阵超声检测的工艺参数选择可参考表 1。

表 1 垂直入射的管子管板角接头相控阵超声检测推荐的工艺参数

探测声程 (mm)	扫描 方式	频率 (MHz)	晶片间距 (mm)	波束倾斜角 度($^\circ$)	聚焦深度 (mm)	激发孔径 (晶片数)
6~20	线扫描	4~10	0.3~1.0	0	探测范围的 0.7~1倍	4~12

5.1.4 当有必要时，可以增加轴向倾斜扫查或周向倾斜扫查。用于倾斜扫查的探头尺寸较大，结构较复杂，有时会因角接头结构和规格尺寸的限制而无法实施检测。另一方面，倾斜扫查时，影响信号质量和图像质量的因素较多，检测工艺参数的选择比较复杂，需要通过工艺鉴定试验确定工艺参数。

5.2 检测系统校准

5.2.1 管子管板角接头实施检测前应在校准试块上进行系统校准，包括增益设置、位置校准和探测范围标定。

5.2.2 校准时应按所选择的工艺进行参数设置，在校准试块上采集到代表根部位置和焊缝熔合线位置的标准反射体的信号，确认轴向位置正确，探测声程适当，并有足够高的回波声压 ($\geq 70\%$) 和信噪比 ($\geq 9\text{dB}$)。当不同位置反射体声压差异较大时，可通过改变频率或聚焦深度加以调整，并允许用 TCG 功能进行增益补偿。

5.3 检测工艺鉴定试验

对特殊结构工件或重要工件，检测前应进行工艺鉴定试验。如果用户要求，一般工件也可以进行工

艺鉴定试验。相控阵工艺鉴定试验一般应在模拟试件上进行，按照拟定的工艺参数进行系统参数设置和校准，然后进行相控阵检测。相控阵超声的检测结果可以与棒阳极 X 射线检测结果进行比对验证，也可通过解剖进行验证。

6 检测前的检查和检测时机选择

6.1 检测前对工件的检查

6.1.1 检测前应对待检的换热器的管子管板角接头外观进行检查，合格后方可进行检测。

6.1.2 对角接头被遮挡的换热器产品（例如空冷器），应对照制造方提供的角接头外观检验报告对管箱和管子管板角接头外观进行检查复核。复核项目至少包括：

（1）管箱变形情况，以及丝堵孔与管孔对中情况。管箱尺寸应符合设计图纸要求，应无明显焊接变形，丝堵孔与管子应保证对中，对扫查器前端的插入和转动不形成障碍。

（2）管子内径尺寸和内表面质量。内径偏差应在标准允许范围内，管子内壁的飞溅，锈蚀和杂物应采取措施去除，以保证扫查器前端能顺利放入管子内部。

（3）管子伸出长度和管端面熔化情况。管子伸出管板长度应一致，管子端面应没有熔化痕迹。

（4）角接接头的焊脚高度、宽度、焊缝成形情况。角接头焊脚高度不得小于图纸规定，焊缝外形应呈 30° - 45° 直线，允许稍稍凸起，不得有严重塌腰。

对发现的问题应作记录，并通知制造方及时处理。

6.2 检测时机

检测应在焊接完成，外观检查合格后进行。对有延迟裂纹倾向的材料，检测至少应延迟到焊接完成 24h 后进行。

7 数据采集过程

7.1 表面处理。

7.2 施加耦合剂。

7.3 电动扫查：

（1）插入前端，检查放置情况，轴向对中情况是否正常，端面基准是否对齐。

（2）开启按钮，实施旋转扫查，同时通过仪器屏幕监视数据采集情况。

（3）数据保存。

(4) 取出扫查器，前端回转到原位。

(5) 转入下一个管头检测。

7.4 手动扫查：

(1) 插入前端，撑住管壁，探头自动就位。

(2) 手摇一圈，完成检测，数据保存。

(3) 在认为需要的位置停顿、观察，中间数据保存。

(4) 转入下一个管头检测。

8 数据判读

8.1 一般不允许利用相控阵仪器屏幕进行数据判读和检测结果评定。应使用电脑屏幕进行数据判读，通过专用软件进行观察、测量和分析，以其结果作为检测结论。

8.2 为保证整圈焊缝信号的全采集，在 B、C 扫描图上，应能看到首部特征信号在尾部重现；在 G 扫描图上，应能看到起点与终点的信号重叠。

8.3 连续采集的图谱中不应出现数据连续丢失，图谱上丢失数据的单个长度应不超过该焊缝长度的 1%，丢失数据的总长度应不超过该焊缝长度的 2%。

9 焊缝质量评定与分级

9.1 角接接头质量评定准则与焊喉尺寸测量方法

9.1.1 相控阵检测的目的是避免焊接接头处出现泄漏通道，足够大的焊喉尺寸可降低使用中发生泄漏的概率，因此换热器角接接头相控阵检测的质量评定准则是：以焊喉尺寸 δ 与管子壁厚 t 的比值评定角接接头质量优劣和级别高低。

9.1.2 焊喉尺寸与角接接头结构尺寸和缺陷情况有关。角接接头结构尺寸和缺陷对焊喉的影响见附录 A 的图 A.1、图 A.2 和图 A.3。从相控阵检测图谱上测量无缺陷处的焊喉尺寸方法见附录 C 的图 C.1、图 C.2 和图 C.4；测量有缺陷处的焊喉尺寸方法见附录 C 的图 C.3 和图 C.5。

9.1.3 管子管板角接接头的根部缺陷、条形缺陷、圆形缺陷的高度测量方法：对根部缺陷，应测量缺陷上端点的位置，以此点作为计算焊喉尺寸的起点。对圆形缺陷和条形缺陷，应测量缺陷在焊缝中的位置，以及缺陷的直径或高度最大值，以此值计算焊喉尺寸。

9.2 质量等级评定

9.2.1 管子管板角接接头的质量等级分为 I 级、II 级、III 级、IV 级。质量最高等级是 I 级。

9.2.2 根据焊喉尺寸 δ 与管子壁厚 t 的比值评定管子管板角接接头的质量等级，有关分级规定如下（无裂纹情况下）：

$\delta \geq 1.2t$, I 级；

$1.0t \leq \delta < 1.2t$, II 级；

$0.7t \leq \delta < 1.0t$, III 级；

$\delta < 0.7t$, IV 级。

9.2.3 当检测人员判断存在裂纹时，可直接评定该角接接头为不合格。

9.2.4 合格级别由产品设计方或采购方决定，一般应不低于 II 级。

10 检测记录和报告

10.1 检测记录格式见附录 E。

10.2 检测报告格式见附录 F。

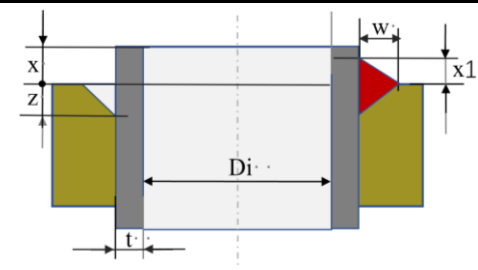
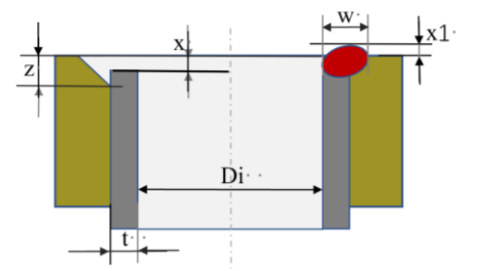
附录 A

(规范性附录)

换热器管子管板角接头类型、结构与特征参数

A.1 管子管板角接头类型、结构、特征参数及其取值范围见表 A.1

表 A.1 管子管板角接头类型、结构、特征参数及其取值范围

类别与特点	结构示意图	特征参数及其取值范围/mm
<p>Q 类角接头：通过设计较深坡口 z 和较大焊角 x_1，可以得到较大焊喉 δ，有利于提高接头合格率；焊接时管端面不熔化，管内壁不变形，有利于相控阵扫查。</p>		$D_i=19\sim 74$ $t=2\sim 8$ $z=0.5t\sim 1.5t$ $x_1\geq 0$ $x_1=0\sim t$ $z+x_1\geq 1.2t$ $w=z\sim z+3$
<p>D 类角接头。由于坡口 z 不大于管壁 t，且无法设计焊脚 x_1，导致焊喉 δ 较小，对焊接合格率不利；如果管端面过低，管内壁熔化，相控阵扫查困难，无法覆盖。</p>		$D_i=19\sim 74$ $t=2\sim 5$ $x=-t/2\sim 0$ $x_1=0\sim 2$ $z=t$ $w=z+t+2$

A.2 焊喉尺寸 δ 在无缺陷处和有缺陷处的测量与取值见图 A.1-图 A.3。

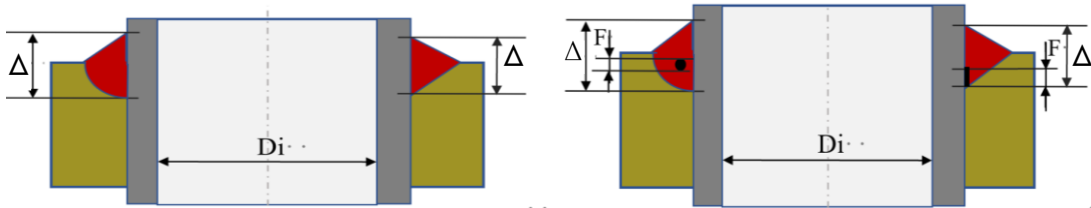


图 A.1 Q 类接头无缺陷处焊喉尺寸 δ ($\delta = \Delta$)

图 A.2 Q 类接头有缺陷处焊喉尺寸 δ ($\delta = \Delta - F$)

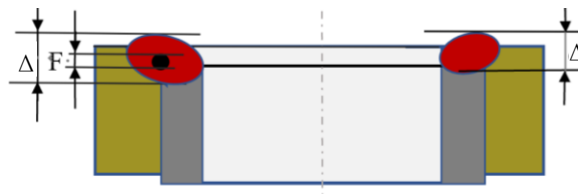


图 A.3 D 类接头焊喉尺寸，无缺陷处 δ ($\delta = \Delta$) 和有缺陷处 δ ($\delta = \Delta - F$)

附录 B

(规范性附录)

换热器管子管板角接接头相控阵超声检测校准试块

B.1 校准试块的用途

管子管板角接接头相控阵校准试块的用途：一是增益设置，二是位置校准，三是探测范围标定。

B.2 校准试块的形状材质及结构尺寸

B.2.1 典型的校准试块设计成一圆筒形，其形状结构见图 B.1，采用机加工方法制作。

B.2.2 校准试块材质应与实际工件材质相同。当两种材质的声速和衰减系数高度接近时，也可代用。

B.2.3 试块上的人工缺陷为平底孔，其直径为 1mm。当需要提高或降低检测灵敏度时，孔的直径可由合同双方商定。

B.2.4 在试块上对应于工件的焊缝根部位置和坡口熔合线位置加工 4 个平底孔。

B.2.5 图 B.1 (a)为管子规格 $\phi 25 \times 2.5\text{mm}$ ，坡口深度 2.5mm，管子伸出管板 3mm 的角接接头的校准试块，试块上 4 个平底孔尺寸均为 $\phi 1\text{mm}$ 。

B.2.6 图 B.1 (b)为平底孔与焊缝的相对位置示意图。要求孔的平底分别位于焊缝表面熔合线处，以及焊缝根部。

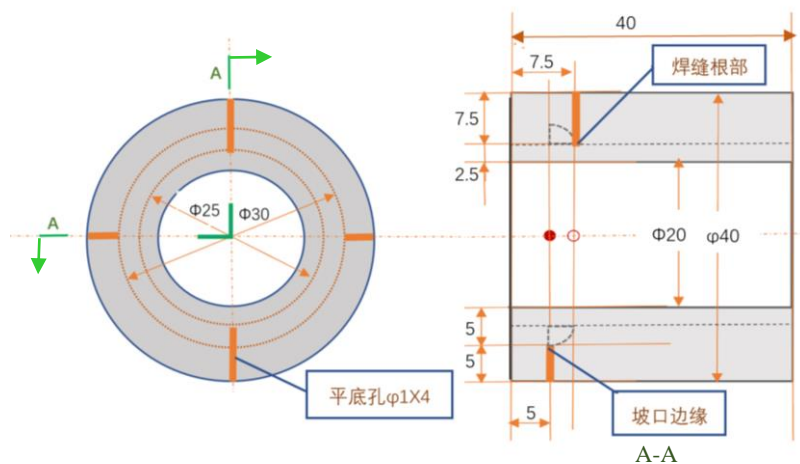


图 B.1 管子管板角接接头 $\phi 25 \times 2.5$ 相控阵检测校准试块

B.3 只要能满足增益设置、位置校准、探测范围标定的要求，允许使用其他形状的校准试块。

B.4 当采用角度线扫描时，应采用球孔作为标准反射体，球孔直径按照平底孔直径当量换算得到。

附录 C

(规范性附录)

换热器管子管板角接头相控阵超声检测焊喉尺寸测量方法

C.1 换热器管子管板角接头的外形轮廓对超声信号产生影响，进而影响到焊喉的测量。因此规定了两种测量焊喉尺寸的方法，分别适用于检测不同结构焊缝得到不同特征信号的图谱。

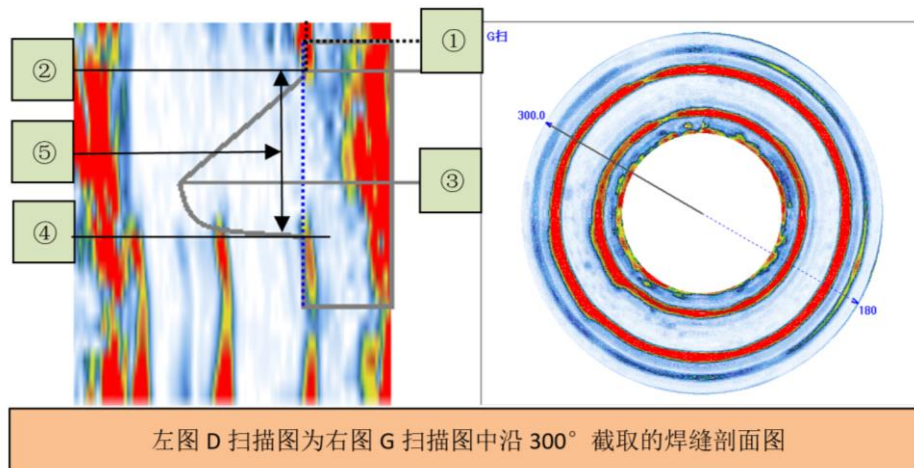
C.2 第一种测量方法 A 及其适用的角焊缝外形轮廓

第一种测量方法 A 适用于管子伸出管板较长，角焊缝焊脚低于管端面，管端面没有熔化，根部信号和焊脚信号均明显可见的图谱：沿平行于管子外壁方向测量焊缝根部信号和焊脚信号之间距离，得到焊喉尺寸 δ ，测量方法见示例图 C.1-图 C.3。

对无内部缺陷的角接头，以及仅存在根部缺陷（焊缝熔深不足根部或未焊透）的角接头，应选择适当部位，按图 C.1 和图 C.2 所示方法测量和计算：分别测量根部信号深度 X_G 与焊脚信号深度 X_J ，两者相减为焊喉尺寸 δ ，即 $\delta = \Delta = X_G - X_J$ 。

对有内部缺陷的角接头，应按图 C.3 所示方法测量和计算，分别测量根部信号深度 X_G 、焊脚信号深度 X_J 、缺陷上端点 F_s 、缺陷下端点 F_x ，焊喉尺寸 $\delta = \Delta - F = (X_G - X_J) - (F_x - F_s)$

A 类（根部信号与焊脚信号可见）焊缝中无缺陷处的焊喉尺寸测量与计算

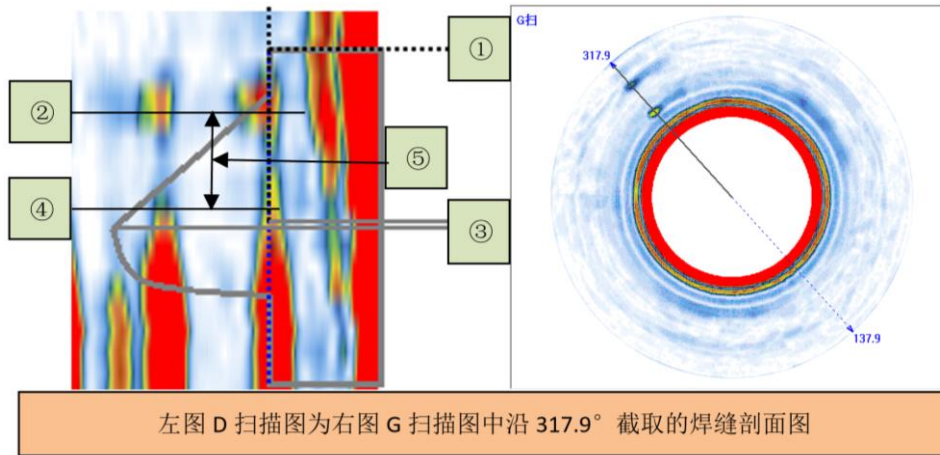


注释：① 定位基准点（管口面）= 0 mm ② 焊角信号（距管口面距离）= 1.0mm
③ 管板面（根据图纸标注尺寸） ④ 根部信号（距管口面距离）= 6.1mm
⑤ 焊喉

焊喉尺寸 δ ⑤ = Δ = 根部信号④ - 焊脚信号② = 6.1 - 1.0 = 5.1mm

图 C.1 测量 A 类焊喉尺寸示例 1

A类（根部信号与焊脚信号可见）焊缝中存在熔深不足（根部未焊透）的焊喉尺寸测量与计算

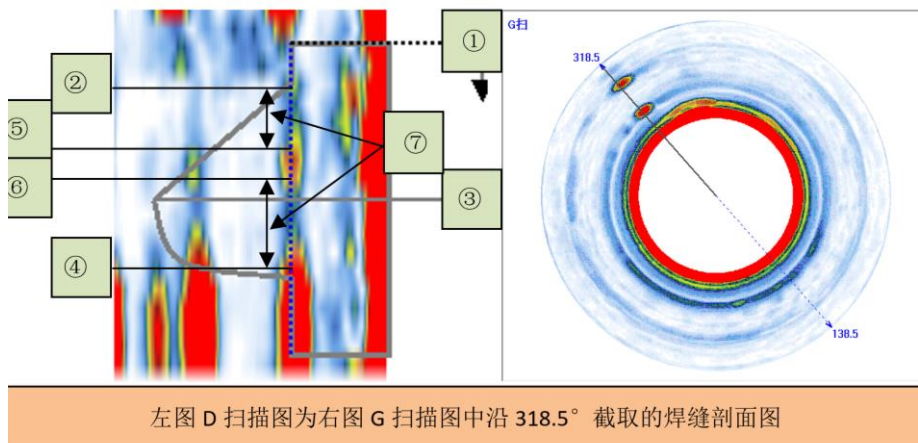


注释：① 定位基准点（管口面）=0mm ② 焊脚信号（距管口面距离）=2.0mm
 ③ 管板面（根据图纸标注尺寸） ④ 根部信号（距管口面距离）=3.9mm
 ⑤ 焊喉

$$\text{焊喉尺寸 } \delta \text{ ⑤} = \Delta = \text{根部信号④} - \text{焊脚信号②} = 3.9 - 2.0 = 1.9\text{mm}$$

图 C.2 测量 A 类焊喉尺寸示例 2

A类（根部信号与焊脚信号可见）焊缝中气孔处的焊喉尺寸测量与计算



注释：① 定位基准点（管口面）=0mm ② 焊脚信号（距管口面距离）=1.5mm
 ③ 管板面（根据图纸标注尺寸） ④ 根部信号（距管口面距离）=5.7mm
 ⑤ 缺陷上端点（距管口面距离）=3.0mm ⑥ 缺陷下端点（距管口面距离）=3.9mm
 ⑦ 焊喉

$$\begin{aligned} \text{焊喉尺寸 } \delta \text{ ⑦} &= \Delta - F = (\text{根部信号④} - \text{焊脚信号②}) - (\text{缺陷下端点⑥} - \text{缺陷上端点⑤}) \\ &= (5.7 - 1.5) - (3.9 - 3.0) = 3.3\text{mm} \end{aligned}$$

图 C.3 测量 A 类焊喉尺寸示例 3

C.3 第二种测量方法 B

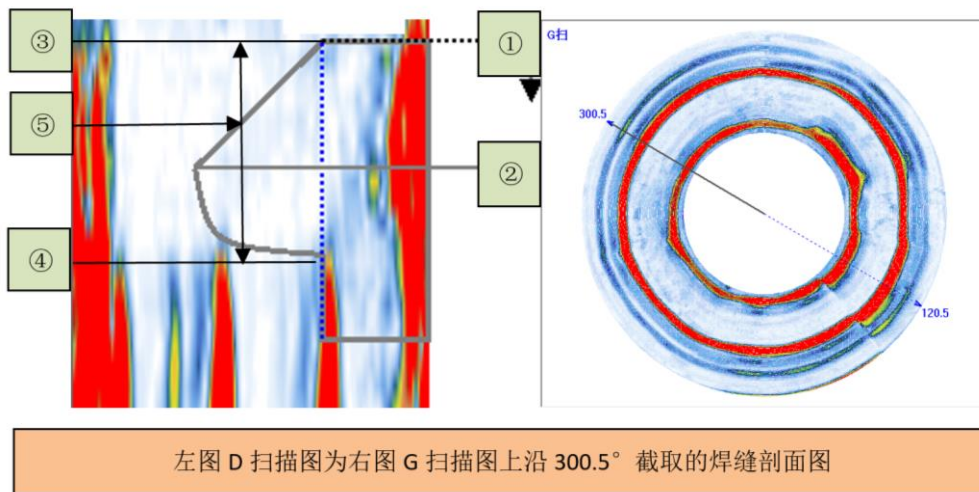
第二种测量方法适用于管子与管板齐平或管子伸出管板较少，管端面被熔化，根部信号明显，而焊脚信号不可见的图谱：沿平行于管子外壁方向测量管端面与焊缝根部信号之间距离，得到焊喉尺寸 δ ，测量方法见示例图 C.4-图 C.5。

对无内部缺陷的角接头，用管端面位置取代焊脚信号作为测量基准面，见图 C.4。在图谱中选择适当部位，分别用相控阵指针测量根部信号 X_G ，用扫查器前端的定位装置标记管端面位置 X_D ，两者相减为焊喉高度 δ ，即 $\delta = \Delta = X_G - X_D$ 。

对有内部缺陷的角接头，用扫查器前端的定位装置标记管端面位置 X_D ，用相控阵指针测量根部信号 X_G ，以及缺陷上端点 F_s 和下端点 F_x ，然后计算焊喉尺寸 $\delta = \Delta - F = (X_G - X_D) - (F_x - F_s)$ ，测量方法如图 C.5 所示。

对空冷器角接头，由于管箱阻挡，扫查器前端的定位装置无法使用，此时可用插尺测量管端面位置 X_D ，与相控阵指针测量根部信号 X_G 两者相减，即为焊喉高度 δ ，即 $\delta = X_G - X_D$ 。

B 类（根部信号可见，管端面被熔化，焊脚信号不可见）焊缝中无缺陷处的焊喉尺寸测量与计算

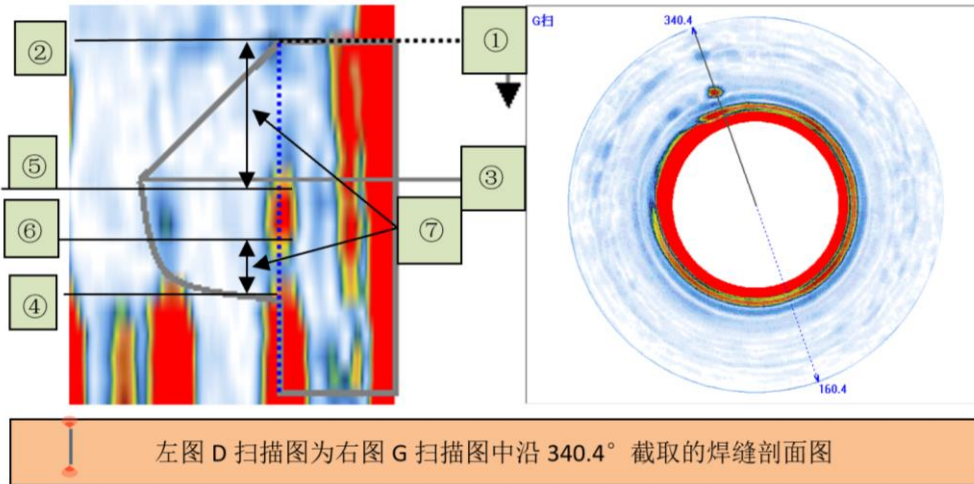


- 注释：① 定位基准点（管口面）=0mm ② 管端面（距管口面距离）=0mm
 ③ 管板面（根据图纸标注尺寸） ④ 根部信号（距管口面距离）=5.8mm
 ⑤ 焊喉

$$\text{焊喉尺寸 } \delta \text{ ⑤} = \Delta = \text{根部信号④} - \text{管端面②} = (5.8 - 0) = 5.8\text{mm}$$

图 C.4 测量 B 类焊喉尺寸示例 1

B类（根部信号可见，管端面被熔化，焊脚信号不可见）焊缝中气孔处的焊喉尺寸测量与计算



- 注释：① 定位基准点（管口面）=0mm ② 管端面（距管口面距离）=0mm
 ③ 管板面（根据图纸标注尺寸） ④ 根部信号（距管口面距离）=5.8mm
 ⑤ 缺陷上端点（距管口面距离）=3.4mm ⑥ 缺陷下端点（距管口面距离）=4.5mm
 ⑦ 焊喉

$$\begin{aligned} \text{焊喉尺寸 } \delta \text{ ⑦} &= \Delta - F (\text{根部信号④} - \text{管端面②}) - (\text{缺陷下端点⑥} - \text{缺陷上端点⑤}) \\ &= (5.8 - 0) - (4.5 - 3.4) = 4.7\text{mm} \end{aligned}$$

图 C.5 测量 B 类焊喉尺寸示例 2

附录 D

(资料性附录)

对管子管板角接头结构、形状、尺寸和外形的要求

D.1 管子管板角接头结构、形状、尺寸和外形对相控阵检测和焊缝质量评级影响很大，为保证检测顺利实施，同时保证角焊缝获得足够大的焊喉，设计单位和制造单位应重视管子管板角接头的结构、形状、尺寸和外形。

D.2 为避免不合理的角接头的结构、形状、尺寸和外形影响相控阵检测和结果评定，进一步提高检测合格率，对管子管板角接头结构、形状、尺寸和外形提出以下要求：

D.2.1 D 类接头形成的焊喉偏小，建议尽量采用能形成较大焊喉的 Q 类角接头。当采用 Q 类角接头时，建议适当增大管子伸出管板长度，采用较深坡口和适当高度的焊脚（例如对管壁厚度为 t 的角接头，管子伸出管板长度不小于 $1.5t$ ，焊脚高度不小于 t ，坡口深度不小于 t ）。

D.2.2 管子管板角接头坡口宜采用较大宽度，焊后形成宽度较大的焊缝。角焊缝外表面成型角度以 30° 为宜，最大不得超过 45° 。

D.2.3 应保证焊接后管子端面保持完好，不被熔化，管子内壁不发生熔化或明显变形，铁水或焊渣不得进入管内。

D.2.4 同一管板上的管子伸出管板长度应一致，偏差不大于 0.3mm 。

D.2.6 角焊缝余高应呈直线，不得有焊瘤且不得有塌腰。如出现焊瘤，应打磨消除；如有塌腰应进行补焊。

D.2.7 焊缝不得有咬边，如出现咬边，应打磨或补焊消除。

D.2.8 合格和不合格角焊缝外观图示见图 D1 和 D2。

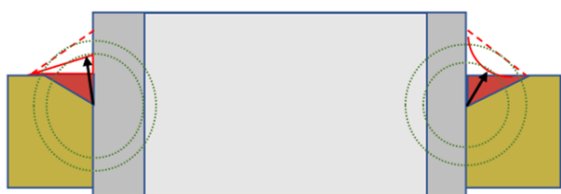


图 D1 焊脚高度和焊缝塌腰影响焊喉的图示



图 D2 焊缝外形合格与不合格的图示

附录 E

(资料性附录)

管子管板角接接头相控阵超声检测记录表格

	相控阵检测原始记录 (首页)			操作指导书编号:				
				原始记录编号:				
委托单位		检测标准	Q/ZTCY-J-02-2021					
检件名称		检件编号		管子规格	$\Phi_ \times _ \text{mm}$			
管子材质		坡口深度	$_ \text{mm}$	焊脚高度	$_ \text{mm}$			
管子伸出长度	$_ \text{mm}$	焊缝宽度	$_ \text{mm}$	焊接方法				
热处理情况		检测时机	焊后 $_ \text{小时}$	焊缝表面状态				
检测数量		检测比例	$_ \%$	合格级别				
仪器型号/编号		探头型号/编号		楔块型号/编号				
校准试块		模拟试块		耦合剂				
检测面		波型		扫查覆盖角度				
扫查方式		机械扫查步进		电子扫描方式				
一次激发阵元数		电子扫描步进		声束角度				
检测灵敏度		聚焦深度		表面补偿				
缺陷的记录与评定								
序号	焊缝编号	焊喉下端点 (mm)	焊喉上端点 (mm)	测点的钟点位	缺陷高度 (mm)	最小焊喉尺寸 (mm)	评定级别	备注
<p>1、焊喉上端点和下端点的深度值测量以管口平面为 0 点；</p> <p>2、无缺陷的角接接头测量焊喉最小的点，给出焊喉尺寸，并给出测量位置的钟点位；</p> <p>3、有缺陷的角接接头测量对焊喉尺寸影响最大缺陷的高度以及该点的焊喉尺寸，并给出测点的钟点位。</p>								
检测 (级别):				审核 (级别):				
日期:				日期:				

附录 F

(资料性附录)

管子管板角接头相控阵超声检测报告表格

		<p style="text-align: center;">管子管板角接头 相控阵超声检测报告</p>			报告编号: XXX 原始记录编号: XXX			
					检测标准 Q/ZTCY-J-02-2021			
委托单位				管子规格		φ_×_mm		
检件名称		检件编号		坡口深度		_mm		
管子材质		坡口深度		_mm		焊脚高度	_mm	
管子伸出长度		_mm		焊缝宽度		_mm		
热处理情况		检测时机		焊后_h		焊缝表面状态		
检测数量		检测比例		_%		合格级别		
仪器型号/编号		探头型号/编号		楔块型号/编号				
校准试块		模拟试块		耦合剂				
检测面		波型		扫查覆盖角度				
扫查方式		机械扫查步进		电子扫描方式				
一次激发阵元数		电子扫描步进		声束角度				
检测灵敏度		聚焦深度		表面补偿				
角接头总数		最终检测总数		最终检测比例				
首次检测数量		首检合格数量		首检不合格数量				
一次扩探数量		一次扩探合格		一次扩探不合格				
二次扩探数量		二次扩探合格		二次扩探不合格				
一次返修数量		二次返修数量		超次返修情况				
最终检测结论		<input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格						
缺陷的记录与评定								
序号	焊缝编号	焊喉下端点 (mm)	焊喉上端点 (mm)	测点的 钟点位	缺陷高度 (mm)	最小焊喉 尺寸 (mm)	评定 级别	备注
1								
2								
3								
4								
1、焊喉上端点和下端点的深度值测量以管口平面为 0 点； 2、对无缺陷的角接头，找到焊喉最小的点测量焊喉尺寸，并给出测点的钟点位； 3、对有缺陷的角接头，找到对焊喉尺寸影响最严重的缺陷测量高度值和该点的焊喉尺寸，并给出测点的钟点位。								
检测 (级别):					审核 (级别):			
日期:					日期:			