

团 体 标 准

T/GDASE 0014—2020

聚乙烯燃气管道电熔焊接接头 相控阵超声检测

Phased array ultrasonic testing for electrofusion joint
of polyethylene gas pipeline

2020 - 07 - 06 发布

2020 - 07 - 06 实施

广东省特种设备行业协会 发布

目 次

前 言.....II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 一般要求..... 2

5 检测工艺..... 3

6 检测方法..... 4

7 检测程序..... 6

8 检测数据的分析..... 6

9 缺陷评定..... 8

附录 A（规范性附录）标准试块 PE-A..... 11

附录 B（规范性附录）标准试块 PE-B 12

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由广州特种承压设备检测研究院提出，由广东省特种设备行业协会归口。

本标准起草单位：广东省特种设备检测研究院中山检测院、广州特种承压设备检测研究院、中山职业技术学院、广州多浦乐电子科技有限公司、深圳市燃气集团股份有限公司、广东省特种设备检测研究院云浮检测院、广州枫叶管业有限公司、广东省特种设备检测研究院珠海检测院、广东省特种设备检测研究院、广东省特种设备检测研究院佛山检测院、广州声华科技有限公司、中山一鸣检验科技有限公司、深圳市太科检测有限公司、汕头市超声仪器研究所有限公司、汕头市超声检测科技有限公司、广东运通仪器科技有限公司。

本标准主要起草人：林凯明、李智、富阳、李茂东、黄晖、李雁南、张胜军、辛明亮、丁俊才、安成名、张伟洪、何建兴、蔡勤、朱利洪、曹福想、夏舞艳、刘艳华、胡淼文、苏敏毅、陈和坤、褚钟锴。

聚乙烯燃气管道电熔焊接接头相控阵超声检测

1 范围

本标准规定了聚乙烯燃气管道电熔焊接接头相控阵超声检测的术语和定义、一般要求、检测工艺、检测方法、检测程序、检测数据的分析及缺陷评定。

本标准适用于公称直径为40mm~400mm且公称壁厚为3.7mm~36.4mm的聚乙烯燃气管道电熔焊接接头的相控阵超声检测，其它尺寸可参考执行。

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 15558.1	燃气用埋地聚乙烯（PE）管道系统 第1部分：管材
GB/T 15558.2	燃气用埋地聚乙烯（PE）管道系统 第2部分：管件
GB/T 29302	无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验
NB/T 47013.1	承压设备无损检测 第1部分：通用要求
TSG D2002	燃气用聚乙烯管道焊接技术规则

3 术语和定义

GB/T 12604.1、GB/T 15558.1、GB/T 15558.2、GB/T 32563 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

焊接特征线 eigen-line

电熔接头超声图中电阻丝上方能够揭示熔融区边界的超声反射信号线。

3.2

电阻丝错位 wire dislocation

电阻丝不均匀排布或焊接过程中因电阻丝移位导致电阻丝分布不均匀的缺陷。

3.3

冷焊 cold welding

由于焊接输入热量不足，熔接界面上的分子因扩散缠绕不足而导致强度不足的缺陷。

3.4

过焊 over-heat welding

由于焊接输入热量过多导致接头材料降解,使得熔接的粘结性能下降的缺陷。过焊时,伴随着孔洞和电阻丝错位等缺陷的产生。

3.5

冷焊程度 the degree of cold welding

冷焊时,电熔接头的焊接特征线与电阻丝的间距小于正常焊接接头。采用待检接头的焊接特征线与电阻丝的间距与正常焊接接头的焊接特征线与电阻丝的间距相比较,用变小的百分比来表征。

3.6

过焊程度 the degree of over-heat welding

过焊时,电熔接头的焊接特征线与电阻丝的间距大于正常焊接接头。采用待检接头的焊接特征线与电阻丝的间距与正常焊接接头的焊接特征线与电阻丝的间距相比较,用变大的百分比来表征。

3.7

电阻丝直径 the resistance wire diameter

在超声检测图像中,管件上预埋电阻丝显示的直径。

3.8

电阻丝错位量 the resistance wire displacement

电阻丝相距其正常位置的最大偏差。

4 一般要求

4.1 检测人员

4.1.1 应符合 NB/T 47013.1 的有关规定。

4.1.2 应具有一定的聚乙烯管道制造、安装及焊接等方面的基本知识,能对聚乙烯管道相控阵检测中出现的问题做出分析、判断和处理。

4.1.3 应取得 UT-II 证件 2 年以上,并通过聚乙烯管道焊接接头相控阵超声检测的专业培训和实践应用。

4.2 检测设备和器材

4.2.1 相控阵检测设备包括主机、探头、软件、扫查装置和附件,上述设备应成套或者单独具有产品质量合格证或制造厂出具的合格证明文件。相控阵检测设备的检验按照 GB/T 29302 执行。

4.2.2 相控阵主机应符合以下要求:

- a) 工作频率按-3dB 测量至少包括 1.0MHz~15MHz 的频率范围;
- b) 具有分时激发和并时激发多个阵元,脉冲激发电压最大值不低于 75V,增益可调,具有 80dB 及以上的连续可调的衰减器,最小步进不大于 1dB;
- c) 水平线性偏差不大于 1%,垂直线性偏差不大于 5%;
- d) 具有超声波发射、接收、放大、数据自动采集、记录、显示和分析功能;

- e) 具有聚焦和修正算法以及时间延时控制软件，具备幅值测量、深度定位等自动分析功能；
- f) 能进行线扫描和扇扫描，具有 A、B、C、S 型显示的功能，能存储、调出图像，并能将存储的检测数据复制到外部存储器；
- g) A 扫描数字采样频率至少 3 倍于可能使用的最高探头标称频率，信号幅度的数字化分辨力至少为 8 位（256 级）；
- h) 具有时间增益修正（TCG）功能；
- i) 应定期校准，校准周期为一年。校准单位应为具有相控阵仪器校准能力的校准机构或仪器生产厂家。

4.2.3 相控阵探头应符合以下要求：

- a) 由多个晶片（不少于 32 个）组成阵列，探头可加装用以辅助声束偏转的楔块或延迟块；
- b) 阵元实测的中心频率与标称频率的偏差不大于标称频率的 10%；
- c) 所有阵元实测的-6dB 频带相对宽度不小于标称值；
- d) 阵元灵敏度一致性需达到要求，标准差 S 不大于 3dB；
- e) 阵元中心频率一致性需达到要求，变异系数 $C \times V$ 不大于 3.3；
- f) 各相邻阵元间串扰值不大于 25dB。

4.2.4 扫查装置应符合以下要求：

- a) 探头夹持部分在扫查时能保证声束朝向与焊缝长度方向夹角不变；
- b) 导向部分能在扫查时使探头运动轨迹与拟扫查轨迹保持一致；
- c) 具有确定探头位置的功能，可通过步进电机或位置传感器实现对位置的探测与控制，位置分辨率不小于 24step/mm。

4.2.5 结合焊接接头的表面平整程度，选择耦合剂：

- a) 对表面平整的焊接接头，应采用透声性好，且不损伤检测表面的耦合剂，如浆糊、甘油和水等；
- b) 对表面不平整的焊接接头，应采用其声速与聚乙烯材料相同或接近，声阻抗与聚乙烯材料相差不大的耦合剂。推荐使用由甘油、水玻璃等按一定比例混合配制而成的稠状耦合剂。

4.2.6 试块包括标准试块和对比试块：

- a) 标准试块包括 PE-A、PE-B，其规格尺寸和要求分别见附录 A、附录 B；
- b) 对比试块的外形尺寸应能代表被检工件的特征，厚度与被检工件厚度相对应，也可采用相同或相近材质的正常电熔焊接接头作为对比试块。试块中的反射体可以是人工缺陷或者是正常焊接接头中分布整齐的电阻丝。

5 检测工艺

5.1 相控阵检测工艺文件

相控阵检测工艺文件应至少包括以下内容：

- a) 被检工件基本情况及检测区域说明，包括被检工件的材料、几何形状、产品编号及检测面等；
- b) 检测设备类型，包括仪器生产厂家、仪器具体型号、产品序列号及上一次校准日期等；
- c) 相控阵探头类型及参数，包括晶片的频率、阵元数量、阵元宽度、阵元间距等；
- d) 相控阵楔块类型及参数，包括楔块声速、楔块外形尺寸及夹角等；

- e) 聚焦法则的详细信息，包括激发孔径的大小、扫描类型及聚焦深度等；
- f) 该系统的校准方式，包括具体的校准试块及方法等；
- g) 扫查区域的数据采集及记录，包括耦合剂类型、扫查方式、扫查范围及对应的扫查数据等；
- h) 缺陷的评定，包括各个缺陷的具体数据、总体评判及对应验收级别等。

5.2 工艺验证试验

工艺验证试验应在对比试块上进行，将拟采用的检测工艺应用到对比试块上进行检测，通过工艺验证的检测结果显示对比试块中的反射体。

6 检测方法

6.1 检测区域

检测区域应包含电熔焊接接头熔融区加上两侧各至少5mm的母材。

6.2 扫查方式的选择

选用在焊缝区域轴向扫查和沿外层套管外表面360°周向扫查的方法进行检测。

6.3 探头的选择

- 6.3.1 聚乙烯管道电熔接头相控阵超声检测用探头采用一维线阵探头。
- 6.3.2 探头声束汇聚区范围应能满足检测聚乙烯管道电熔接头内缺陷深度的要求。
- 6.3.3 探头激发孔径长度应大于电熔接头单边熔接区宽度，要求覆盖单边电熔接头的检测区域，探头激发孔径宽度应小于 10mm，使探头与管件外圆弧面有良好的耦合。
- 6.3.4 探头频率应根据管件厚度选定。不同管件厚度范围适用的探头频率可按照表 1 选取。

表 1 不同管件厚度适用的探头频率

PE 管件厚度 t/mm	频率 f/MHz
t≤10	f≥6
10<t<25	4<f<6
t≥25	f≤4

6.4 探头的布置及软件设置

6.4.1 探头的布置

采用线扫描对焊缝进行覆盖，探头平行于管件轴线，在焊缝区域轴向扫查和沿外层套管外表面360°周向扫查，见图3。

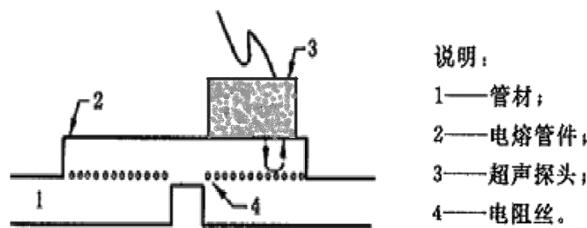


图 3 探头的布置

6.4.2 聚焦设置

焊缝初始扫查时，聚焦深度应设置在工件中最大探测声程处。

在对缺陷进行精确定量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，但应注意聚焦区以外声场劣化问题。

6.5 检测时机

应在焊接工作完成自然冷却2h后进行。

6.6 扫查面准备

6.6.1 用于电熔焊接的管材应符合 GB/T 15558.1 的要求，管件应符合 GB/T 15558.2 的要求，同时电熔焊接接头按照 TSG D2002 宏观检查合格；

6.6.2 检测面所有影响超声检测的污物等都应予以清除；

6.6.3 被检测聚乙烯管道接头表面尽可能光洁，凡是由于施工过程造成的毛糙表面应打磨光洁，使表面粗糙度 $R \leq 12.5\mu\text{m}$ ；

6.6.4 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。

6.7 检测温度

检测时应确保在规定的温度范围内进行，若温度过低或过高，应采取有效措施避免。若无法避免，应评价其对检测结果的影响。采用常规探头和耦合剂时，工件的表面温度范围为 $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。超出该温度范围，可采用特殊探头或耦合剂，并通过实验验证。

6.8 检测系统的设置及校准

6.8.1 采用线扫描检测前，应对线扫描角度 0° 时的声束校准，校准的声程范围应包含检测拟使用的声程范围；

6.8.2 系统分辨率测试应采用 PE-A 试块相近或相同深度的六个不同间距横孔进行测试；

6.8.3 线扫描 TCG 修正后不同深度处相同反射体回波波幅应一致，且经最大补偿的声束回波的信噪比不应小于 6dB；

6.8.4 基准灵敏度的设置应采用 PE-B 试块，使用 TCG 功能进行校准；

6.8.5 扫查灵敏度由工艺验证试验确定，一般将 $\phi 1 \times 25$ -4dB 设置为满屏高度的 80%~95%，作为扫查灵敏度；

6.8.6 工件的表面耦合损失和材质衰减应与试块相同，否则应进行传输损失补偿。在所采用的最大声程内最大传输损失差小于或等于 2dB 时可不进行补偿；

6.8.7 检测前应对位置传感器进行校准，校准方式是使扫查装置移动一定的距离（不小于 500mm）时对检测设备所显示的位移与实际位移进行比较，其误差一般不宜大于 1%且最大不超过 10mm。

6.9 检测系统的复核

检测系统的复核包括对灵敏度复核及定位精度复核，发生以下情况时应对检测系统进行复核：

- a) 校准后的探头、耦合剂和仪器调节旋钮发生改变时；
- b) 检测人员怀疑扫查灵敏度有变化时；
- c) 连续工作 4h 以上时；
- d) 工作结束时。

复核应采用与初始检测设置时的同一试块。若复核时发现与初始检测设置的测量偏离，则按照表2 规定执行。

表 2 偏离与纠正参考表

灵敏度	≤3dB	通过软件进行纠正
	>3dB	应重新设置，并重新检测上次校准以来所检测的焊缝
声程	偏离≤1mm	不需要采取措施
	偏离>1mm	应找出原因重新设置。若在检测中或检测后发现，则纠正后应重新检测上次校准以来所检测的焊缝

7 检测程序

- 7.1 依照设备的操作指导书将检测系统的硬件及软件置于检测状态。
- 7.2 在待检的电熔接头上使用耦合剂。
- 7.3 将探头摆放到要求的位置，沿设计的路径进行扫查。探头移动轨迹偏离不能超过 5mm。
- 7.4 扫查速度应不大于 30mm/s，扫查步进应不大于 1mm。
- 7.5 扫查停止位置应超过起始位置至少 20mm；若需对焊缝进行分段扫查，则各段扫查区的重叠范围至少为 20mm。由于电熔管件接线柱阻碍探头的移动，自动扫查时应避开。

8 检测数据的分析

8.1 检测数据的有效性

分析数据前应对所采集的数据进行评估以确定其有效性，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长度的要求；
- c) 数据丢失量不得超过整个扫查长度的 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%，单个耦合不良长度不得超过 2mm。
否则应重新进行扫查。

8.2 缺陷的定性

8.2.1 根据 B 型显示，结合 A 型显示，对缺陷的性质进行分析。

8.2.2 电熔接头缺陷性质包括：

- a) 接头中的孔洞；
- b) 熔接面夹杂，如夹物、油污、氧化皮未刮等；
- c) 冷焊；
- d) 过焊；
- e) 电阻丝错位；
- f) 管材承插不到位。

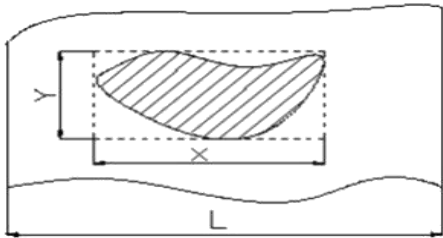
8.3 缺陷的表征

8.3.1 以 B 型显示和 C 型显示中缺陷成像尺寸作为缺陷尺寸。

8.3.2 缺陷长度：当缺陷只有一个高点时，采用 6dB 法测长；当缺陷有多个高点时，采用端点 6dB 法测长。

8.3.3 熔合面夹杂

熔合面夹杂缺陷为面积型缺陷，将其表征为其外接矩形之长和宽围成的矩形（图 4）。图 4 中缺陷所在的面为聚乙烯电熔接头的熔合面（C 型显示）。当存在两个以上的熔合面缺陷相邻时，应考虑熔合面缺陷之间的相互影响。当相邻缺陷间距小于等于较短缺陷尺寸时，应作为一个缺陷处理，间距也应计入缺陷长度。



说明：L——聚乙烯电熔接头单边熔合区长度；X——缺陷矩形的轴向方向上的矩形边长；
Y——缺陷矩形的轴向方向上的矩形边长。

图 4 熔接面缺陷的表征

8.3.4 熔合面夹杂孔洞

孔洞缺陷为体积型缺陷，应表征其长度 X、宽度 Y 和孔洞自身高度 H。其表征长度 X 和宽度 Y 的方法与 8.3.3 相同，孔洞自身高度 H 采用电熔接头纵向截面的二维超声波图像中该缺陷显示最大高度表示。

8.3.5 电阻丝错位

采用电阻丝错位量来表征电阻丝错位的严重程度（图5）。图5为聚乙烯电熔接头的轴向剖面图。

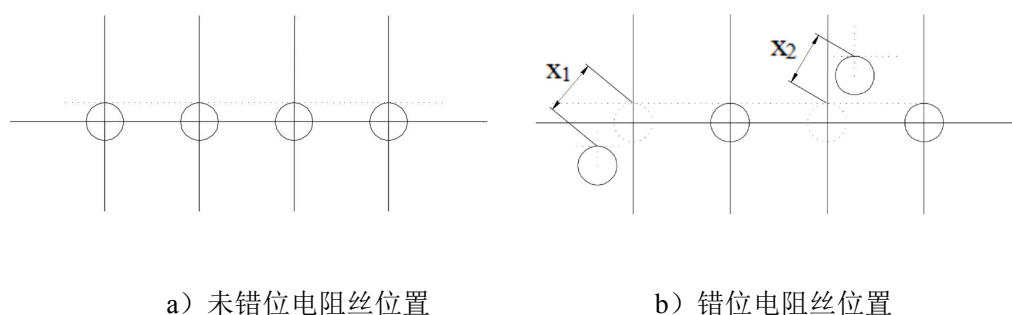


图5 电阻丝错位的表征

取所有错位量中的最大值作为电阻丝错位缺陷的计算尺寸，见式（2）。

$$x = \max(x_1, x_2) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

x_1 、 x_2 ——电阻丝相距其正常位置的偏差。

8.3.6 冷焊

冷焊程度计算方式见式（3）：

$$W_1 = \left(1 - \frac{s_2}{s_1} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

W_1 ——冷焊程度；

s_1 ——从正常焊接电熔接头的超声成像图中，测得的特征线与电阻丝之间的距离；

s_2 ——从待检电熔接头的超声成像图中，测得的特征线与电阻丝之间的距离。

8.3.7 过焊

过焊程度计算方式见式（4）：

$$W_2 = \left(\frac{s_2}{s_1} - 1 \right) \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

W_2 ——过焊程度；

s_1 ——从正常焊接电熔接头的超声成像图中，测得的特征线与电阻丝之间的距离；

s_2 ——从待检电熔接头的超声成像图中，测得的特征线与电阻丝之间的距离。

8.3.8 管材承插不到位

管材承插不到位以聚乙烯电熔接头单边熔合区长度L来表征其严重程度。

9 缺陷评定

9.1 缺陷质量分级的依据

根据接头中存在的缺陷性质、数量和密切程度，其质量等级可划分为 I、II、III 级。

9.2 熔合面夹杂的质量分级

熔合面夹杂缺陷按表3的规定进行分级评定。

表 3 熔合面夹杂缺陷的质量分级

级别	与内冷焊区贯通的熔接面夹杂的缺陷长度	与内冷焊区不贯通的熔接面夹杂的缺陷长度
I	—	不大于标称熔合区长度 $L/10$
II	不大于标称熔合区长度 $L/10$	不大于标称熔合区长度 $L/5$
III	大于 II 级者	

注：L为标称熔合区长度。

9.3 孔洞的质量分级

孔洞缺陷按表4的规定进行分级评定。

表 4 孔洞缺陷的质量分级

级别	单个孔洞	组合孔洞
I	$X/L < 5\%$ 且 $H < 5\%T$	累计尺寸 $X/L < 10\%$ 且 $H < 5\%T$
II	$X/L < 10\%$ 且 $H < 10\%T$	累计尺寸 $X/L < 15\%$ 且 $H < 10\%T$
III	大于 II 级者或电熔接头中存在相邻电阻丝间有连贯性孔洞或与内冷焊区贯通的孔洞	

注：X为该缺陷在熔合面轴向方向上的尺寸，L为标称熔合区长度，T为电熔接头管材壁厚，H为孔洞自身高度。

9.4 电阻丝错位的质量分级

电阻丝错位缺陷按表5的规定进行分级评定。

表 5 电阻丝错位缺陷的质量分级

级别	电阻丝错位量
I	无明显错位
II	错位量小于电阻丝间距
III	大于 II 级者或相邻电阻丝相互接触

9.5 冷焊的质量分级

冷焊缺陷按表6的规定进行分级评定。

表 6 冷焊缺陷的质量分级

级别	冷焊程度 W_1
I	小于 10%
II	小于 30%
III	大于 II 级者

9.6 过焊的质量分级

9.6.1 过焊引起孔洞缺陷时，按 9.3 评定。

9.6.2 过焊引起电阻丝错位时，按 9.4 评定。

9.6.3 过焊缺陷按过焊程度进行分级评定时，按表 7 的规定进行分级评定。

表 7 过焊缺陷的质量分级

级别	过焊程度 W_2
I	小于 20%
II	小于 40%
III	大于 II 级者

9.7 承插不到位

电熔接头中存在承插不到位缺陷时直接评为III级。

9.8 综合评级

当接头中同时出现多种类型的缺陷时，以质量最差的级别作为接头的质量级别。

9.9 接头的质量接受标准由合同双方商定，或参照有关规范执行。

附 录 A
(规范性附录)
标准试块 PE-A

A.1 标准试块PE-A用于灵敏度及分辨率测试。试块应由与测试试样同质的或声学相似的材料制成，该材料不得有大于或等于 $\phi 1\text{mm}$ 平底孔当量的缺陷，试块的尺寸规格见图A.1，试块的表面粗糙度应与测试样相接近，试块的检测面为平面或带有一定曲率半径的曲面，在试块的不同深度位置上含有 6 个排列不均匀的横通孔。

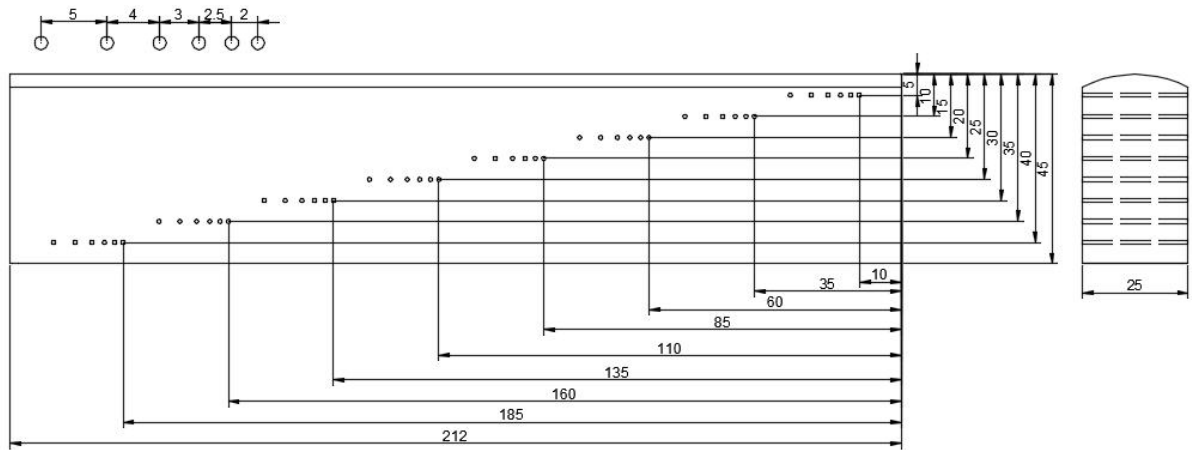


图 A.1 标准试块 PE-A

试块的型号、相应的曲率半径和适用的焊接接头范围见表A.1的规定。

表 A.1 试块圆弧曲率半径

试块型号	试块圆弧曲率半径（mm）	适用的电熔接头范围（公称直径）（mm）
PE-A-1	30	$\geq 40 \sim 90$
PE-A-2	60	$\geq 90 \sim 180$
PE-A-3	平面	≥ 180

A.2 标准试块加工应符合下列要求：

- a) 横通孔平行于测试表面；
- b) 试块长度、高度、宽度、横通孔位置符合图样 A.1，尺寸精度为 $\pm IT12$ ；
- c) 横通孔的直径： $\phi 1\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 。

A.3 标准试块尺寸精度应符合本部分的要求，并应经计量部门检定合格。

附 录 B
(规范性附录)
标准试块 PE-B

B.1 标准试块PE-B用于相控阵检测系统的声速延迟校准和TCG修正。试块应由与测试样同质的或声学相似的材料制成，该材料不得有大于或等于 $\phi 1\text{mm}$ 平底孔当量的缺陷，试块的尺寸规格见图B.1，试块的表面粗糙度应与测试样相接近，试块的检测面为平面或带有一定曲率半径的曲面，在试块的不同深度位置上各含有 1 个横通孔。

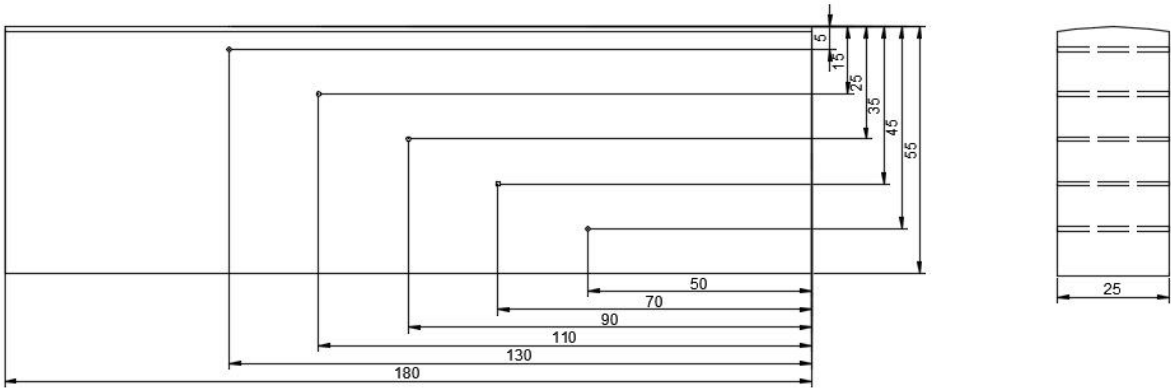


图 B.1 标准试块 PE-B

试块的型号、相应的曲率半径和适用的焊接接头范围见表B.1的规定。

表 B.1 试块圆弧曲率半径

试块型号	试块圆弧曲率半径（mm）	适用的电熔接头范围（公称直径）（mm）
PE-B-1	30	$\geq 40\sim 90$
PE-B-2	60	$\geq 90\sim 180$
PE-B-3	平面	≥ 180

B.2 标准试块加工应符合下列要求：

- a) 横通孔平行于测试表面；
- b) 试块长度、高度、宽度、横通孔位置符合图 B.1，尺寸精度为 $\pm IT12$ ；
- c) 横通孔的直径： $\phi 1\text{mm}\pm 0.05\text{mm}$ 。

B.3 标准试块尺寸精度应符合本部分的要求，并应经计量部门检定合格。