

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/T 1763—2023

燃气聚乙烯管道电熔接头相控阵超声检测

Phased array ultrasonic testing for electrofusion joint of gas polyethylene pipes

2023 - 12 - 22 发布

2024 - 01 - 22 实施

陕西省市场监督管理局 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 检测人员..... 2

5 检测设备..... 2

6 检测工艺..... 3

7 检测数据分析..... 5

8 缺陷评定..... 7

9 检测报告..... 8

附录 A （规范性） 对比试块 PE-A..... 10

附录 B （规范性） 对比试块 PE-B..... 11

附录 C （资料性） 电熔接头含缺陷模拟试块制作..... 12

附录 D （资料性） 电熔接头相控阵超声检测特征图谱..... 14

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

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。

本文件由陕西省市场监督管理局提出并归口。

本文件起草单位：榆林市特种设备检验检测院、上海海骄机电工程有限公司、西安特种设备检验检测院、铜川市特种设备检验所、上海派普诺管道检测科技发展有限公司。

本文件主要起草人：李宇翔、崔增林、印军华、张建龙、王占荣、王家庚、王强、方家宁、负柯、贾学滨、金鑫、王静、姬静利、张魏雄、陈小龙、王永亮、米凯、井阳、李隆章、房东华、唐素梅、郑俊斌、王宁宁、高兴、毛维辉。

本文件由榆林市特种设备检验检测院负责解释。

联系信息如下：

单位：榆林市特种设备检验检测院

电话：09128186855

地址：陕西省榆林市西沙柳营东路双灵东巷16排5号

邮编：719000

燃气聚乙烯管道电熔接头相控阵超声检测

1 范围

本文件规定了燃气聚乙烯管道电熔接头相控阵超声检测人员、检测设备、检测工艺、检测数据分析、缺陷评定及检测报告的要求。

本文件适用于公称直径 ≥ 40 mm，且接头厚度 < 80 mm的燃气聚乙烯管道电熔接头的相控阵超声检测。

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 944 无损检测 人员资格鉴定与认证
- 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
- GB/T 29460 含缺陷聚乙烯管道电熔接头安全评定
- GB/T 32563 无损检测 超声检测 相控阵检测方法
- NB/T 47013.15 承压设备无损检测 第15部分 相控阵超声检测

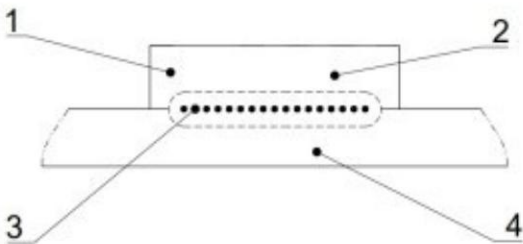
3 术语和定义

GB/T 9445、GB/T 32563和GB/T 29460界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

熔合区 melt fusion zone

熔接过程中材料熔化的区域。熔合区如图1。



注 1：1——电熔管件

注 2：2——熔合区

注 3: 3——电阻丝

注 4: 4——管材

图 1 电熔接头熔合区

3.2

冷焊程度 H the degree of cold welding

冷焊时，特征线与电阻丝的间距小于正常焊接接头。与正常焊接接头比较，用减量百分比表征。

3.3

过焊程度 H' the degree of over-heat welding

过焊时，特征线与电阻丝的间距大于正常焊接接头。与正常焊接接头比较，用增量百分比表征。

3.4

未熔合 lack of fusion

熔合界面处聚合物分子间没有扩散，导致界面未熔合在一起的缺陷。

3.5

微粒污染 particulate contamination

熔合界面处存在颗粒物污染的缺陷。

3.6

承插不到位 pipe under-penetration

管材承插时，端口未到达管件内要求位置。

4 检测人员

4.1 检测人员应符合 GB/T 9445 或相应适用标准的要求，进行检测资格鉴定，并取得相应等级的证书。取得各级别的检测人员，只能从事与该资格级别相应的无损检测工作，并负相应的技术责任。

4.2 检测人员应了解燃气用聚乙烯管道的特性、制造工艺和焊接工艺，通过聚乙烯管道焊接接头相控阵超声检测专业技术培训，并能独立进行聚乙烯管道焊接接头相控阵超声检测。

4.3 检测人员应得到聘用单位的工作授权。

5 检测设备

5.1 仪器

相控阵超声检测仪器性能应符合 GB/T 29302 的要求。

5.2 探头

5.2.1 采用一元线阵直探头。阵元间距应 $\leq 0.4\text{ mm}$ ，阵元长度应 $\leq 10\text{ mm}$ 。

5.2.2 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见表 1。

表 1 不同管件厚度适用的探头频率

管件厚度 e (mm)	频率 f (MHz)
$6 < e \leq 15$	5~6
$15 < e \leq 30$	4~5
$e > 30$	2.25~4

5.3 试块

5.4 对比试块用于调节设备，材料与被检件相似，含有意义明确的参考反射体。对比试块 PE-A、PE-B 尺寸和要求见附录 A 和附录 B。

5.5 模拟试块主要用于检测工艺的验证。外形尺寸应能代表被检工件的特征，厚度应与被检工件厚度相对应。模拟试块的制作方法见附录 C。

5.6 耦合剂

应结合待检熔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，推荐采用由甘油、水玻璃等按一定比例混合配制而成的稠状耦合剂；
- c) 应在工艺文件规定的温度范围内稳定可靠。

5.7 扫查器

5.7.1 应能夹持探头并贴合管道沿焊缝进行周向扫查。

5.7.2 检测前应对扫查器进行校准，位移误差应 $\leq 1\%$ ，最大不超过 10 mm。

5.8 校准、核查、运行核查和检查

检测设备的校准、核查、运行核查和检查要求按NB/T 47013.15执行。

6 检测工艺

6.1 检测区域

应包含熔合区宽度加上两侧各5 mm的电熔管件母材。

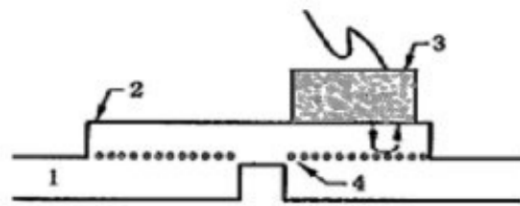
6.2 扫查方式

沿线扫查+线扫描。沿线扫查方式包括轴向扫查和周向扫查。

6.3 探头布置及软件设置

6.3.1 探头布置

采用线扫描对检测区域进行覆盖，探头平行于管件轴线（如图2）。



- 注 1：1——管材；
注 2：2——电熔管件；
注 3：3——相控阵探头；
注 4：4——电阻丝。

图 2 探头布置

6.3.2 激发孔径设置

激发孔径尺寸D、阵元宽度b应满足： $0.2 \leq D/b \leq 5$ 。推荐选择较大的激发孔径。

6.3.3 聚焦设置

6.3.4 初始扫查聚焦深度应设置在熔合面外侧 1 mm~3 mm。

6.3.5 在对缺陷进行精确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。

6.3.6 显示设置

显示设置宜设置为A扫描显示、B型显示和C型显示。

6.4 检测时机

熔接完成并经自然冷却1.5 h后。

6.5 扫查面

6.5.1 待检电熔接头应符合以下要求：

- a) 采用管材符合 GB/T 15558.1 的要求，管件符合 GB/T 15558.2 的要求；
- b) 接头由持证焊工按经评定合格的焊接工艺进行组装、施焊；
- c) 接头宏观检查合格，接头表面平整，不影响探头与工件的声耦合。

6.5.2 所有影响检测的污物等应予以清除。

6.6 灵敏度

6.6.1 使用 PE- A 系列试块，采用 TCG 方式校准灵敏度。

6.6.2 扫查灵敏度由工艺验证试验确定，一般设定为 $\phi 1 \times 25-4\text{dB}$ 。检测冷焊、过焊缺陷时，可将灵敏度提高 10 dB~15 dB。

6.6.3 工件表面耦合损失和最大声程处材质衰减与试块相差大于或等于 2 dB 时，应进行传输损失补偿。

6.7 扫查

6.7.1 扫查速度 $\leq 30\text{ mm/s}$ ，扫查步进 $\leq 1\text{ mm}$ 。

6.7.2 扫查起止位置至少重叠 20 mm；分段扫查时，至少重叠 20 mm。

6.7.3 电熔管件接线柱阻碍探头的移动，自动扫查时应避开，如不能避开，则在接线柱阻碍探头移动的区域作手动补充扫查。

6.7.4 扫查过程中应保持稳定的耦合。

6.8 工艺验证

工艺验证一般在模拟试块上进行，应能清楚地显示模拟试块中的缺陷或反射体。

7 检测数据分析

7.1 有效性评价

应对采集的检测数据进行评估以确定其有效性，检测数据应满足以下要求：

- a) 扫查图像中耦合不良累计不得超过 5%，单个耦合不良长度不得超过 2 mm；
- b) 灵敏度、信噪比符合检测要求；
- c) 数据覆盖检测范围，无漏检；
- d) 数据丢失量不得超过 5%，且不允许相邻数据连续丢失。

7.2 缺陷识别

7.2.1 依据 B 型显示，结合 A 扫描显示和 C 型显示，识别缺陷显示，判定缺陷类别。

7.2.2 附录 D 给出电熔接头相控阵超声检测特征图谱。

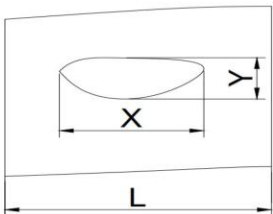
7.3 缺陷测量

7.3.1 位置、尺寸测量

- a) 结合 B 型显示、C 型显示及 A 扫描显示，对缺陷的位置、尺寸进行测量。缺陷测量时可采用：
- b) 以 B 型显示、C 型显示中缺陷成像尺寸作为缺陷尺寸；
- c) 以 A 扫描显示进行：若缺陷回波只有一个高点，采用 -6 dB 法测长；若缺陷回波有多个高点，采用端点 -6 dB 法测长。
- d) 如果存在管材底波降低量超过 6 dB 的区域时，此区域长度可作为缺陷长度。

7.3.2 未熔合和微粒污染

- a) 未熔合和微粒污染为面积型缺陷，以其外接矩形的边长表示。如图 3 所示。
- b) 当存在两个及两个以上缺陷时，应考虑缺陷的相互影响。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。



注 1：L——电熔接头单边熔合区长度；

注 2：X——缺陷外接矩形的轴向边长；

注 3：Y——缺陷外接矩形的周向边长。

图 3 面积型缺陷的表征

7.3.3 熔合面夹杂和孔洞

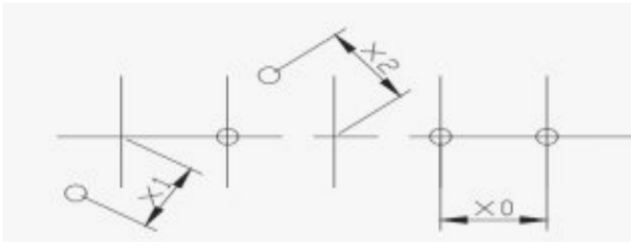
熔合面夹杂和孔洞为体积型缺陷，应表征其长度 X 、宽度 Y 和孔洞自身高度 h 。表征长度 X 和宽度 Y 的方法与 7.3.2 相同，孔洞自身高度 h 采用电熔接头纵向截面的二维超声波图像中该缺陷显示最大高度表示。

7.3.4 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。如图4，取最大值作为电阻丝错位量，见式（1）。

$$x = \max(x_1, x_2 \dots) \dots\dots\dots (1)$$

式中：



- 注1： x 为电阻丝未错位时的间距；
- 注2： $x_1, x_2 \dots$ 为电阻丝偏离正常位置的偏离量。

图4 电阻丝错位的表征

7.3.5 冷焊

冷焊时，电熔接头的特征线与电阻丝的间距小于正常焊接接头。与正常焊接接头比较，用减量百分比表征冷焊程度 H 。计算方法见式（2）。

$$H = \left(1 - \frac{l'}{l}\right) \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- l ——正常焊接电熔接头中，特征线与电阻丝之间的距离；
- l' ——待测电熔接头中，特征线与电阻丝之间的距离。

注： l 和 l' 取最大值和最小值的平均值。

7.3.6 过焊

a) 过焊特征

过焊按孔洞、电阻丝错位量和过焊程度分别表征。过焊主要呈现以下特征：

- 特征线与电阻丝之间的距离变大；
- 电阻丝发生错位；
- 在接头中容易产生孔洞。

b) 过焊程度

与正常焊接接头比较，用增量百分比表征过焊程度 H' ，计算方法见式（3）。

$$H' = \left(\frac{l'}{l} - 1 \right) \times 100\%$$

.....(3)

式中：

l ——正常焊接电熔接头中，特征线与电阻丝之间的距离；

l' ——待测电熔接头中，特征线与电阻丝之间的距离。

注： l 和 l' 取最大值和最小值的平均值。

7.3.7 承插不到位

管材承插不到位以单边熔合区的轴向长度 L 来表征其严重程度。

8 缺陷评定

8.1 缺陷质量分级划分

- 8.1.1 根据接头中存在的缺陷类别、数量和大小，质量等级划分为 I、II、III级。
- 8.1.2 存在承插不到位缺陷显示时，评为III级。

8.2 熔合面夹杂、未熔合和微粒污染评级

按表2的规定进行分级评定。

表 2 熔合面夹杂、未熔合和微粒污染的质量分级

级别	与内冷焊区贯通	与内冷焊区不贯通
I	—	$X \leq L_0/10$
II	$X \leq L_0/10$	$X \leq L_0/5$
III	大于 II 级者	
注：L0为标称熔合区长度。		

8.3 孔洞评级

按表3的规定进行分级评定。

表 3 孔洞的质量分级

级别	单个孔洞	组合孔洞
I	$X/L_0 < 5\%$ 且 $h < 5\%e$	累计尺寸 $X/L_0 < 10\%$ 且 $h < 5\%e$
II	$X/L_0 < 10\%$ 且 $h < 10\%e$	累计尺寸 $X/L_0 < 15\%$ 且 $h < 10\%e$
III	大于 II 级者	
注：L ₀ 为标称熔合区长度，e为电熔接头管材壁厚，h 为孔洞自身高度。		

8.4 电阻丝错位评级

按表 4 的规定进行分级评定。

表 4 电阻丝错位缺陷的质量分级

级别	电阻丝错位量
I	$x < x_0/3$
II	$x < x_0$ 且相邻电阻丝未接触
III	大于 II 级者
注： x_0 为电阻丝间距	

8.5 冷焊评级

按表 5 的规定进行分级评定。

表 5 冷焊缺陷的质量分级

级别	冷焊程度 H
I	$< 10\%$
II	$< 30\%$
III	大于 II 级者

8.6 过焊评级

8.6.1 过焊引起熔合面孔洞缺陷时，按 8.3 评定。

8.6.2 过焊引起电阻丝错位时，按 8.4 评定。

8.6.3 过焊缺陷按过焊程度进行分级评定时，按表 6 的规定进行分级评定。

表 6 过焊缺陷的质量分级

级别	过焊程度 H'
I	$< 20\%$
II	$< 40\%$
III	大于 II 级者

8.7 综合评级

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。

8.8 质量接受标准

可为 I 级或 II 级，由合同双方商定或参照有关规范执行。

9 检测报告

检测报告至少应包括以下内容：

- 委托单位和报告编号；

- e) 检测标准、验收等级；
- f) 接头名称、编号、材质、规格；
- g) 检测设备：仪器名称、型号、编号、探头、扫查装置、试块、耦合剂；
- h) 检测结果、评级；
- i) 缺陷显示图；
- j) 检测人员及其资格、审核人员及其资格、报告日期。

附录 A
(规范性)
对比试块 PE-A

A.1 比试块PE-A用于检测系统的声束延时校准、TCG/ACG修正。试块应由与被检工件同材质的或声学性能相同或近似的材料制成，材料内不得有大于或等于 $\phi 1\text{ mm}$ 平底孔当量的缺陷。试块形状和尺寸见图A.1，试块的表面粗糙度应与被检工件相接近，人工反射体为预埋 $\phi 1\text{ mm}$ 金属丝。

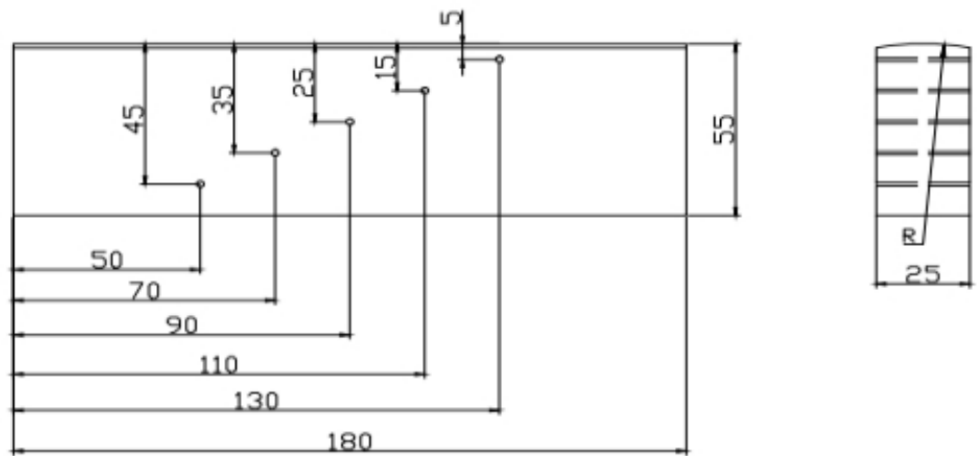


图 A.1 对比试块 PE-A

A.2 试块圆弧和适用范围见表A.1。

表A.1 试块圆弧和适用范围

单位：mm

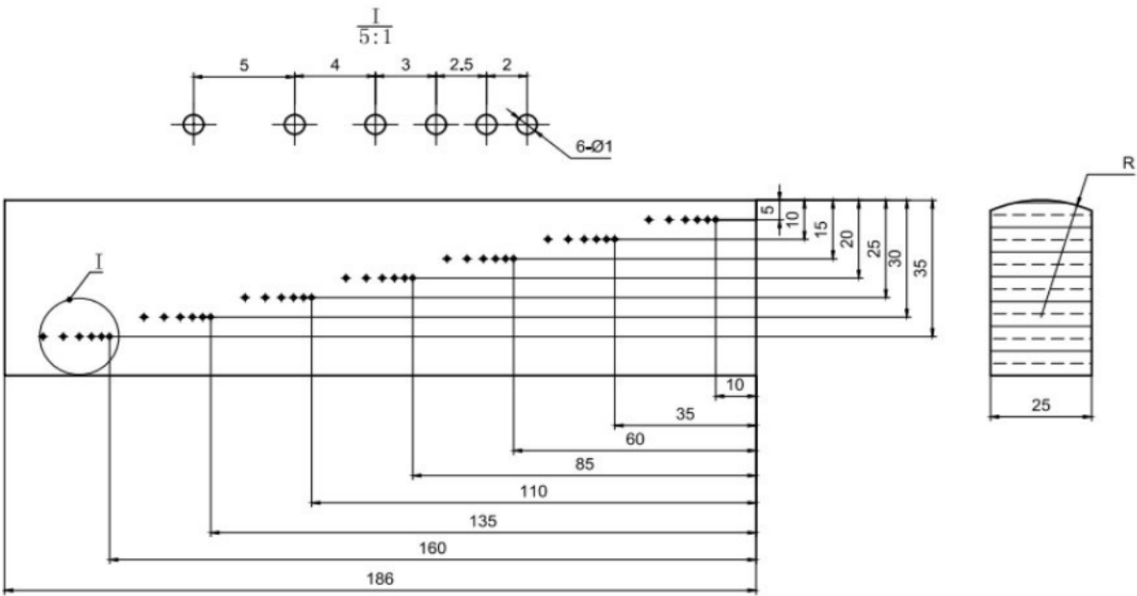
试块型号	试块圆弧R	适用接头范围（公称直径）
PE-A-1	30	$\geq 40 \sim 80$
PE-A-2	60	$\geq 80 \sim 160$
PE-A-3	平面	≥ 160

A.3 对比试块加工应符合下列要求：

- a) 预埋金属丝平行于底面。
- k) 试块长度、高度、宽度、金属丝位置符合图 A.1，尺寸精度为 $\pm IT12$ 。
- l) 金属丝的直径： $\phi 1\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ 。

附 录 B
(规范性)
对比试块 PE-B

B. 1 对比试块PE-B用于分辨力测试。试块应由与被检工件同材质的或声学性能相同或近似的材料制成，材料内不得有 $\geq \phi 1\text{ mm}$ 平底孔当量的缺陷。试块的形状和尺寸见图B. 1，试块的表面粗糙度应与被检工件相接近，人工反射体为预埋 $\phi 1\text{ mm}$ 金属丝。



图B. 1 对比试块PE-B

B. 2 试块圆弧和适用范围见表B. 1。

表B. 1 试块圆弧和适用范围

单位：mm

试块型号	试块半径R	适用接头范围（公称直径）
PE-B-1	30	$\geq 40 \sim 80$
PE-B-2	60	$\geq 80 \sim 160$
PE-B-3	平面	≥ 160

B. 3 对比试块加工应符合下列要求：

- a) 预埋金属丝平行于底面。
- m) 试块长度、高度、宽度、金属丝位置符合图 B.1，尺寸精度为 $\pm IT12$ 。
- n) 金属丝的直径： $\phi 1\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ 。

附 录 C
(资料性)
电熔接头含缺陷模拟试块制作

C.1 熔合面夹杂

C.1.1 取一段长度足够的管材，根据套筒承插深度在管材上做好标记。

C.1.2 用合适的机械刮削工具去除管材表面氧化层（见C.1-1）。

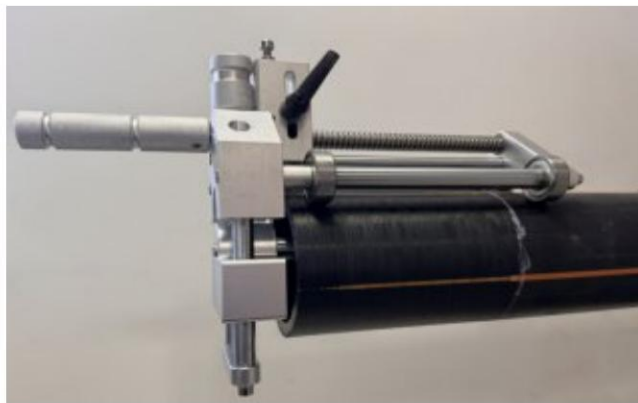


图 C.1-1 管材表面氧化层去除

C.1.3 用镊子将铝箔片（ $25\mu\text{m}$ 厚）置于刮削后管材表面，用烙铁将铝箔片热固定在管材上（见图C.1-2）。注意避免使用太大的压力，否则会使铝箔片变形。

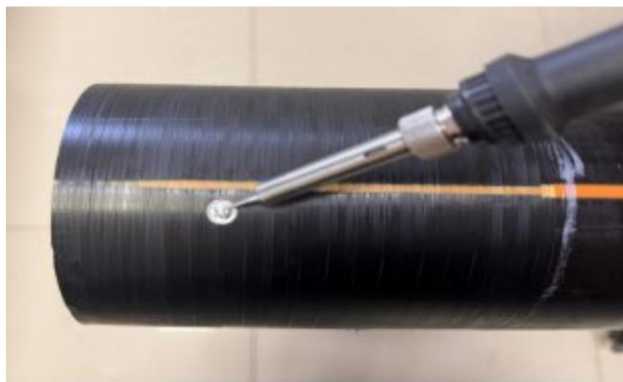


图 C.1-2 铝箔片的放置

C.1.4 重复上述操作得到两段管材。

C.1.5 将两段管材有铝箔片的一端插入套筒后进行焊接（注意承插线位置）。

C.2 微粒污染

C.2.1 取一段长度足够的管材，根据套筒承插深度在管材上做好标记。

C.2.2 用合适的机械刮削工具去除管材表面氧化层。

C.2.3 用软毛刷刷取少量滑石粉（微粒 $<50\text{ }\mu\text{m}$ ）均匀涂抹在刮削好的管材表面（见图C.2）。



图 C.2 微粒污染（滑石粉）施加

C.2.4 重复上述操作得到两段管材。

C.2.5 将两端涂有滑石粉的管材插入套筒进行焊接。

附录 D
(资料性)
电熔接头相控阵超声检测特征图谱

D.1 正常焊接

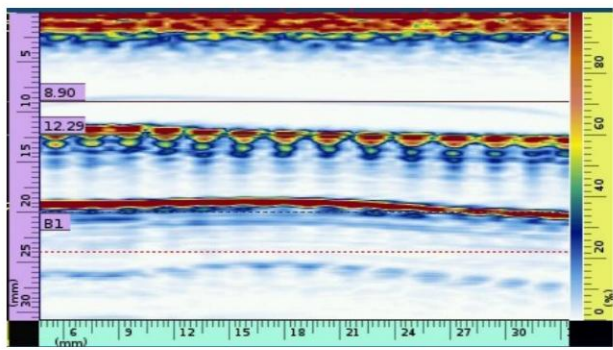


图 D.1 正常焊接电熔接头超声相控阵检测图谱

正常焊接的相控阵超声图像同时呈现以下特征：

- a) 电阻丝排列规整，间距均匀，无明显错位现象；
- b) 熔合区域无缺陷显示，管材内壁信号连续、清晰；
- c) 电阻丝上方的特征线与电阻丝的间距正常。
- d) 通常电熔接头的边界总不是完美的，电熔接头内、外冷焊区会形成边界信号和接头外表面反射信号等，这些信号不应该被包括在判定信号里。

D.2 熔合面夹杂

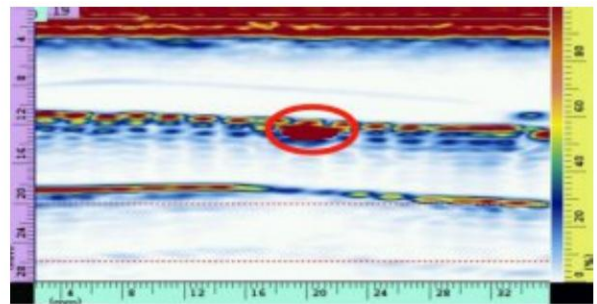


图 D.2 含熔合面夹杂的电熔接头相控阵超声检测图谱

熔合面夹杂属于体积型缺陷。在相控阵超声图像中：

- a) 缺陷显示在熔合面位置（电阻丝下方），缺陷显示亮度与夹杂物有关；
- b) 缺陷显示下方，承插管材内壁信号会缺失或减弱；
- c) 存在自身高度显示。

D.3 未熔合

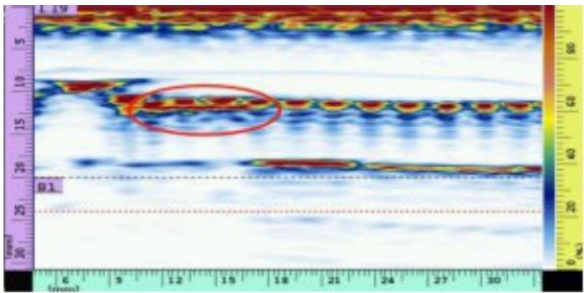


图 D.3 含有未熔合的电熔接头相控阵超声检测图谱

未熔合属于面积型缺陷。在相控阵超声图像中：

- a) 缺陷显示在熔合面位置（电阻丝下方），缺陷显示比电阻丝显示较弱；
- b) 在缺陷显示下方，承插管材内壁信号会减弱；
- c) 无自身高度显示。

D.4 电阻线错位

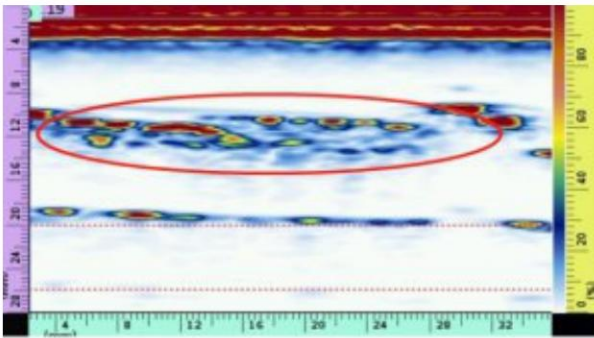


图 D.4 含电阻丝错位的电熔接头相控阵超声检测图谱

电阻丝错位是相比于原均匀排布状态的，在相控阵超声图像中呈现电阻丝离开有原位置，排列不均匀，严重时甚至显得杂乱无章。

D.5 孔洞

D.5.1 熔合面孔洞

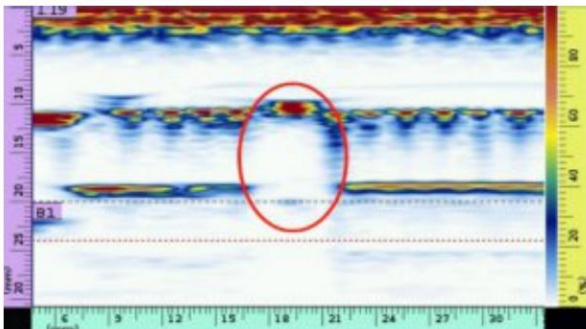


图 D.5.1 含熔合面孔洞的电熔接头相控阵超声检测图谱

熔合面孔洞属于体积型缺陷。在相控阵超声图像中：

- a) 缺陷显示在熔合面位置，通常出现在电阻丝附近；
- b) 在缺陷显示下方，无承插管材内壁信号。

D.5.2 管材或管件上的孔洞

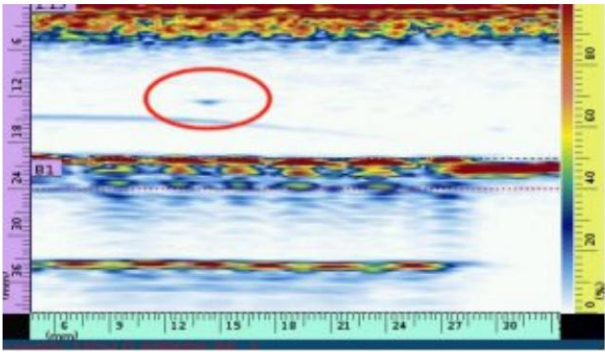


图 D.5.2 管材上含孔洞的电熔接头相控阵超声检测图谱

此类孔洞与电熔焊接无关，它出现在管材或管件的内部。

D.6 冷焊

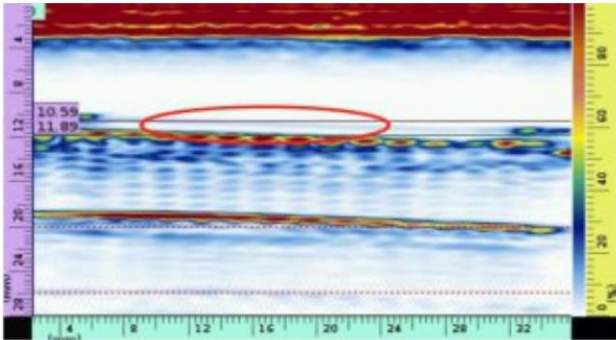


图 D.6 冷焊电熔接头相控阵超声检测图谱

冷焊缺陷由于输入能量不足引起，在相控阵超声图像中：

- a) 特征线与电阻丝的距离小于正常焊接接头中特征线与电阻丝的距离；
- b) 冷焊严重时，特征线显示紧靠电阻丝，电阻丝下方的熔合面有明显的界面显示。

D.7 过焊

过焊缺陷由于输入能量过多引起，在相控阵超声图像中：

- a) 特征线与电阻丝的距离大于正常焊接接头中特征线与电阻丝的距离；
- b) 过焊严重时，特征线可能接近管件外表面，被表面干扰信号淹没；
- c) 过焊时，通常还会产生电阻丝错位和熔合面孔洞等缺陷。

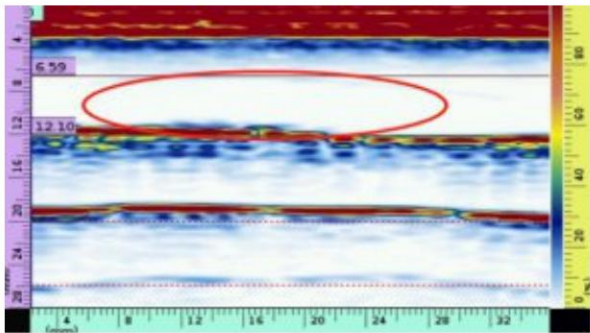


图 D.7 过焊电熔接头相控阵超声检测图谱

D.8 管材承插不到位

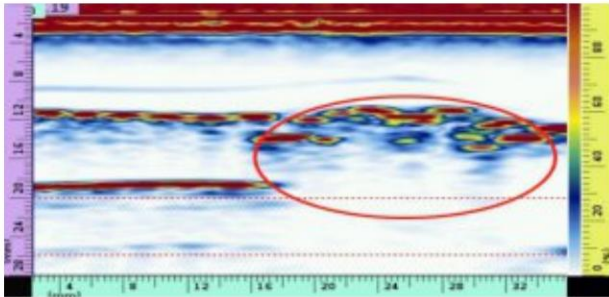


图 D.8 管材承插不到位电熔接头相控阵超声检测图谱

管材承插不到位缺陷的相控阵超声图像中：

- a) 管件上远插入端的电阻丝下方，无管材内壁反射信号显示；
- b) 未到位处，呈现过焊缺陷特征。

D.9 微粒污染

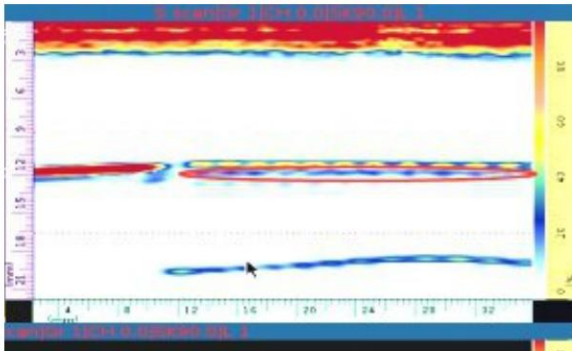


图 D.9 微粒污染电熔接头相控阵超声检测图谱

D.9.1 微粒污染缺陷相当密集型微小熔合面夹杂，在相控阵超声图像中：

D.9.1 缺陷显示在熔合面位置（电阻丝下方），相比于电阻丝信号较弱。