

中华人民共和国电力行业标准
钢熔化焊 T形接头角焊缝超声波
检验方法和质量分级

DL/T 542—94

Methods of Ultrasonic Testing and Classification of
Measuring Results for T-Joints Fillet Fusion Welded in Steel

中华人民共和国电力工业部1994-06-09批准

1994-12-01实施

1 主题内容与适用范围

本标准规定了使用脉冲反射法手工超声波检验钢熔化焊T形接头角焊缝的方法和
质量评级。

本标准适用于电力机械、水电设备和水电建筑物钢结构焊接结构件的超声波检
验。

本标准适用于板厚度不小于8mm的非奥氏体钢T形接头角焊缝超声波检验。

对平板、管板、十字接头和直径大于500mm的管材T形接头角焊缝的超声波 检验
也可以参照采用。

2 引用标准

GB5616 常规无损探伤应用导则

GB11345钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级

ZBY232超声探伤用1号标准试块技术条件

GB3375焊接名词术语

3 检验等级和扫查部位

3.1 检验等级

本标准规定了A、B、C三种检验等级。

3.1.1 A级检验为普通检验等级，属于较为经济的检验，适用于承受静载荷焊接钢结
构件。

3.1.2 B级检验为中等检验等级，属于以质量控制为目的的完善性检验，适用于承受
重复载荷和对焊缝强度要求较高的焊接钢结构件。

3.1.3 C级检验为最高检验等级，属于高质量的检验，适用于承受交变载荷、工况条
件恶劣、因破坏能引起重大灾害事故的焊接结构件。

3.2 扫查部位

3.2.1 A级检验从翼板外侧用直探头和斜探头扫查焊缝及其热影响区，扫查部位见图
1(a)。垂直于焊缝走向的探头移动区为：

$$P_1 \geq 2K_2 + \delta_1 + 50$$
$$P_2 \geq 2\delta_2 \tan \beta + 2K_2 + \delta_1 + 50$$

图1 扫查部位示意图

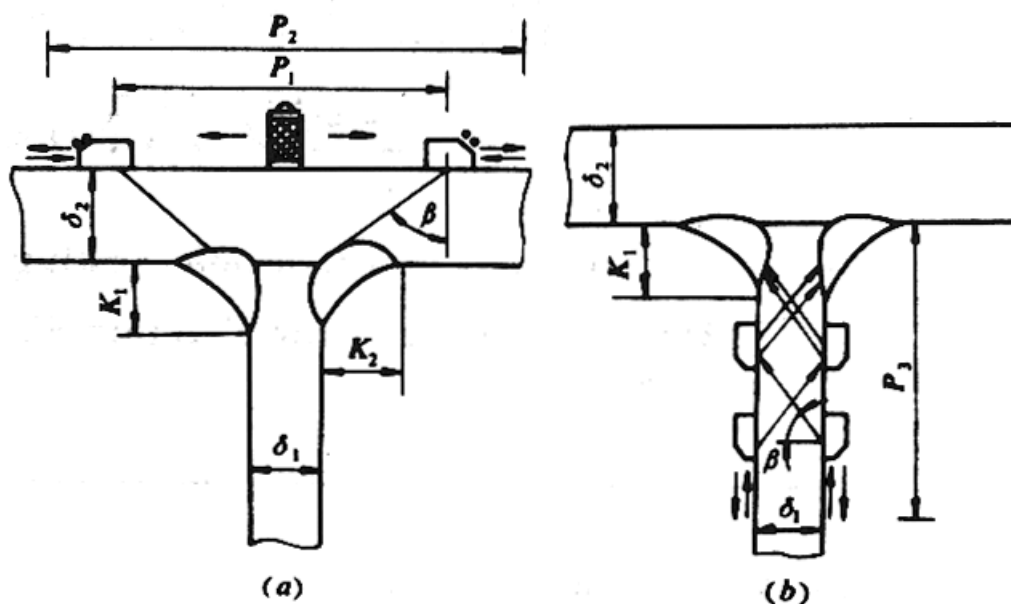


图 1 扫查部位示意图

(a) 在翼板外侧面上检测；(b) 在腹板两侧面上的检测

(a)在翼板外侧面上检测；(b)在腹板两侧面上的检测

式中： P_1 ——直探头移动区，mm；

P_2 ——斜探头移动区，mm；

δ_1 ——腹板厚度，mm；

δ_2 ——翼板厚度，mm；

β ——斜探头折射角；

K_2 ——翼板上的焊角尺寸，mm。

3.2.2 B级检验一般情况下同第3.2.1条，但对焊接工艺不稳定、缺陷难以判定或者焊缝区易产生延迟裂纹的情况，还应从腹板两侧用斜探头进行辅助扫查，扫查部位见图1(b)。腹板表面垂直于焊缝走向的探头移动区为：

$$P_3 \geq 2\delta_1 \tan \beta + K_1 + 50$$

式中： P_3 ——腹板上斜探头移动区，mm；

δ_1 ——腹板厚度，mm；

β ——斜探头折射角；

K_1 ——腹板上的焊角尺寸，mm。

3.2.3 C级检验应从翼板外侧用直探头和斜探头扫查焊缝及其热影响区，同时还必须用斜探头从腹板两侧扫查焊缝，扫查部位见图1(a)、(b)。

3.2.4 如果受条件限制，腹板上的检测只能从一侧表面上进行，或者只能用斜探头的一次波扫查时，应在检验记录和报告中加以注明。

4 检验人员

焊缝超声波检验人员应按有关规程或技术条件的规定，经过严格的培训和考核，

必须持有国家规定的有关部门颁发的与其工作相适应的资格证书。

5 探伤仪、探头及系统性能

5.1 探伤仪

使用A型脉冲反射式超声波探伤仪，其工作频率范围至少应在1~5MHz内，探伤仪应配备增益控制器或衰减器，其精度为任意相邻12dB的误差小于±1 dB。步进级每档不大于2dB，总调节量应大于60dB，水平线性误差不大于1%，垂直线性误差不大于5%。

5.2 探头

5.2.1 本标准推荐采用双晶片组合式直探头和斜探头，也可以使用普通的直探头和斜探头。在使用聚焦探头时，直探头的聚焦深度应与T形接头角焊缝处的板厚相适应。斜探头的聚焦，在声束的有效探测区域内应使声束不发散且趋于收敛，焦点直径不大于 φ5mm。

表1 斜探头的折射角度

表 1 斜探头的折射角度	
焊 缝 类 型	折 射 角 度
非熔透型角焊缝	40°或 45°
熔透型角焊缝	45°或 55°，45°或 60°

注：斜探头折射角度的实测值与公称值偏差应小于 2°。

注：斜探头折射角度的实测值与公称值偏差应小于2° 。

5.2.2 斜探头折射角度的选择，见表1。

5.3 系统性能

5.3.1 灵敏度余量必须大于所需的检测灵敏度10dB以上。

5.3.2 直探头深度测量精度为±1mm，直探头与斜探头均能对CSK-1A试块上 φ 40、φ44、φ50三个圆柱面的反射回波具有分辨能力。

5.4 探伤仪、探头的校验

5.4.1 探伤仪的水平线性和垂直线性应每三个月校验一次。

5.4.2 探头性能在每次使用前应进行校验。

6 试块

6.1 标准试块

CSK-1A标准试块外形尺寸见图2。试块技术条件应符合 ZBY232的规定。

图2 CSK-1A标准试块的外形尺寸

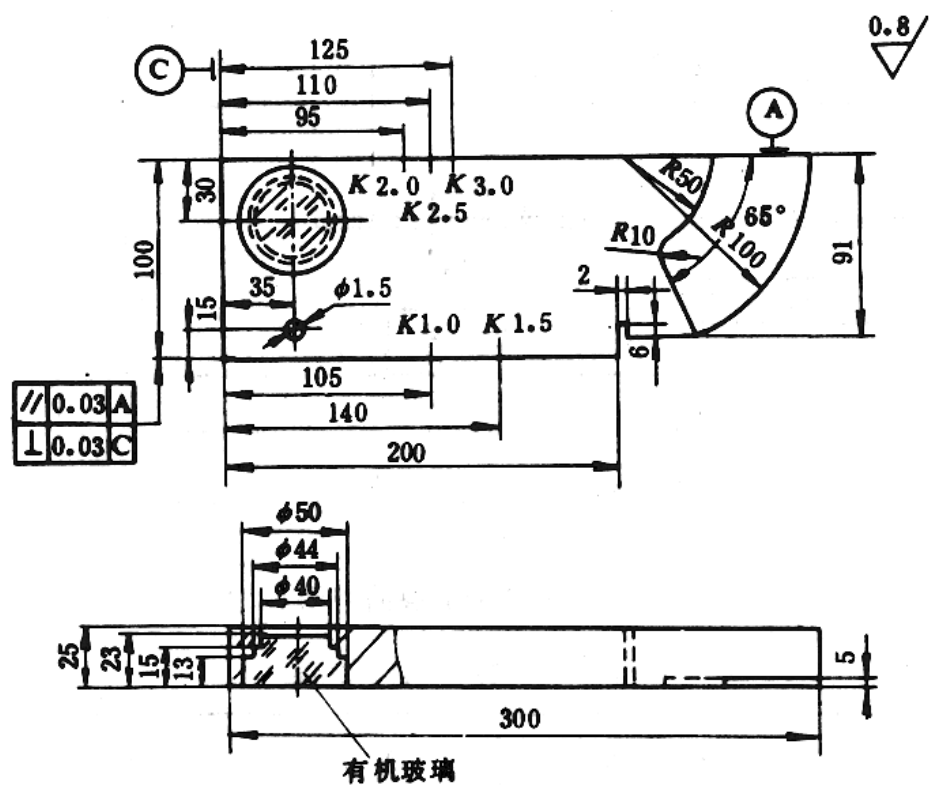


图 2 CSK-1A 标准试块的外形尺寸

6.2 参考试块

6.2.1 本标准规定采用DL-1和DL-2两种型式的参考试块。参考试块应采用与被 检材料相同或声学性质相近的钢材制成。

6.2.1.1 在绘制距离-波幅曲线时，DL-1参考试块用于调整和校验检测灵敏度，其外形尺寸见图3。

图3 DL-1参考试块的外形尺寸

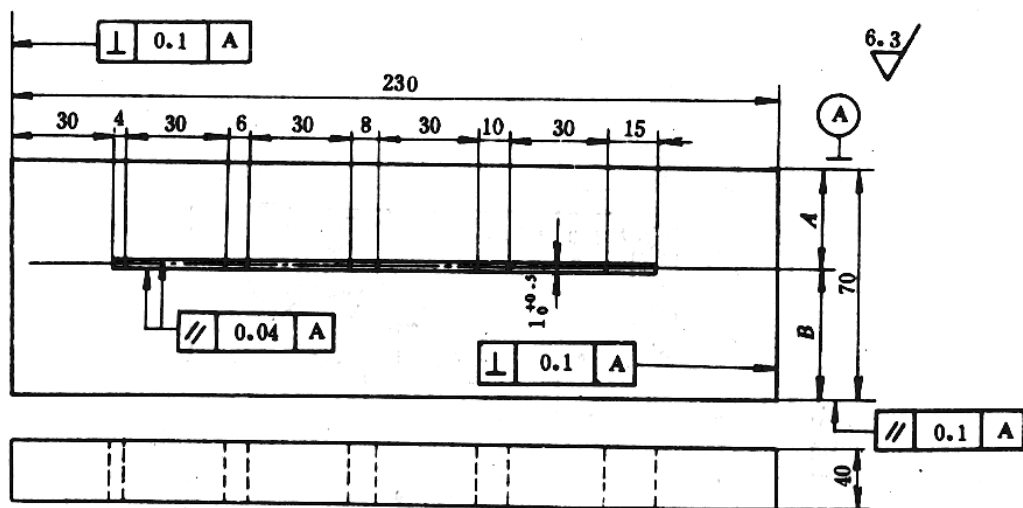


图 4 DL-2 参考试块的外形尺寸

表2 试块尺寸A、B值mm

表 2 试块尺寸 A、B 值					mm
组 别	DL-2A	DL-2B	DL-2C	DL-2D	DL-2E
A	10	15	20	25	30
B	60	55	50	45	40

7 检验前准备

7.1 探测面和焊缝表面的修整

7.1.1 探头移动区域内，应消除焊接飞溅、铁屑、油垢等妨碍声耦合的外部杂质。探测面应平整光滑，必要时进行修磨。

7.1.2 保留余高的焊缝，表面有咬边、较大的隆起或凹陷等也应进行适当地修磨或补焊，形成圆滑过渡。

7.2 缺陷定位坐标的设定

7.2.1 翼板外侧面上定位坐标的设定

7.2.1.1 检测前应在翼板探测面上划出相应腹板厚度的中心线，作为两侧焊缝缺陷定位用的X坐标轴线。

7.2.1.2 在X坐标轴上设置一个易于查找的永久性标志，作为坐标原点。

7.2.1.3 通过坐标原点作与X轴相垂直的直线，即Y坐标轴。

7.2.2 腹板面上的定位坐标的设定

缺陷在腹板面上定位时，可利用翼板外侧面上的定位坐标，也可以另行设定。

7.3 时间扫描调整

检测前必须对所使用的探头进行时间扫描调整，使进入钢材中的声束入射点调整到荧屏机械标尺的零刻度处时，基线按比例调节。一般采用深度定位、水平定位或声程定位，检测时可根据实际需要进行选择。

7.4 距离波幅(DAC)曲线的绘制

7.4.1 距离波幅曲线由选用的仪器、探头系统在参考试块上以规定的同一基准孔，不同位置或不同声程的回波幅度的实测数据绘制而成。一般用X轴表示基准孔的位置或声程范围，Y轴表示信号幅度。

7.4.2 距离波幅曲线由高(H)、中(M)、低(L)三条电平控制线组成，彼此相差6dB，见图5。

图5 距离波幅曲线示意图]

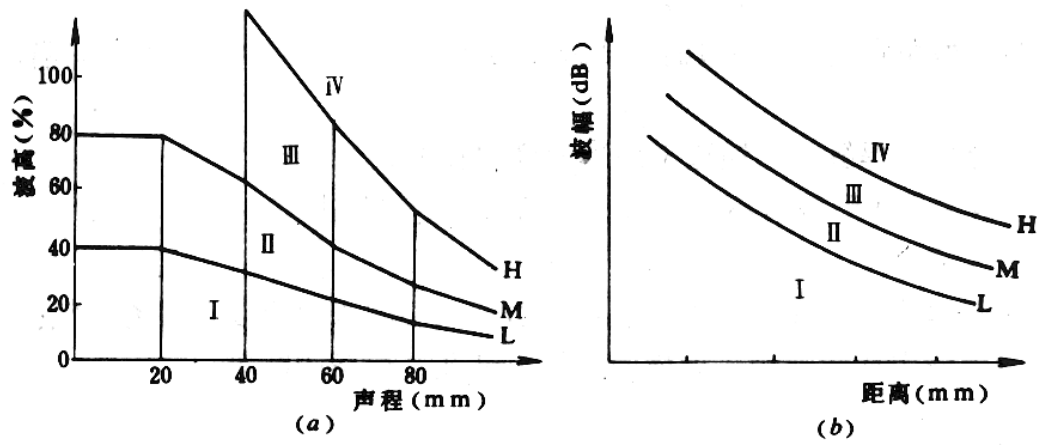


图 5 距离-波幅曲线示意图
(a) 面板曲线；(b) 坐标纸曲线

(a)面板曲线；(b)坐标纸曲线

7.4.3 直探头和斜探头的距离波幅曲线都使用DL1参考试块上 $\phi 3$ 横孔的回波进行绘制。

图6 用分段法绘制的面板曲线示意图

表 6 条状缺陷的质量分级					mm
质量等级	指示长度 K		A	B	C
	检验等级				
I	$K \leq 25$		≤ 10	≤ 8	≤ 5
	$K > 25$		$\leq K/3$, 最大 20	$\leq K/4$, 最大 15	$\leq K/5$, 最大 8
II	$K \leq 25$		≤ 15	≤ 10	≤ 8
	$K > 25$		$\leq K/2$, 最大 30	$\leq K/3$, 最大 20	$\leq K/4$, 最大 15
III	$K \leq 25$		≤ 20	≤ 15	≤ 10
	$K > 25$		$\leq 2K/3$, 最大 40	$\leq K/3$, 最大 30	$\leq K/3$, 最大 20
IV	$K \leq 25$		缺陷长度大于 III 级者		
	$K > 25$				

注：对于 I 形坡口角焊缝，K 为焊脚尺寸；对于单 V 形、U 形、或双 V 形坡口角焊缝，K 为腹板厚度。

7.4.4 距离波幅曲线可以绘制在坐标纸上(坐标纸曲线)，也可以直接绘制在仪器示波屏面板上(面板曲线)。当采用面板曲线时，在整个检验范围内曲线均应处在示波屏满刻度的20%以上，不足部分可分段绘制。分段绘制时应在示波屏水平刻度的某个读数之后提高一定的分贝值，重新绘制，分段绘制的面板曲线示意图见图6。

7.4.5 如果焊接母材与绘制DAC曲线所用试块之间存在有2dB以上的声能衰减与耦合差，则应对声能衰减与传输损失给予补偿。直探头与斜探头的表面声能损失测定方法见附录A、附录B。

7.4.6 所绘制的距离波幅曲线只在焊缝检验中使用，不在母材检验中使用。

8 检测与扫查

8.1 检测

8.1.1 检测方法一般采用2~5MHz直探头或斜探头的单探头脉冲反射方式检测(直接接触或间接接触)。

8.1.2 直探头检测

8.1.2.1 焊缝检测前应规定的扫查范围内先用直探头对母材进行扫查。

8.1.2.2 母材检测

- a.检测探头移动区内母材中的缺陷，对非危害性缺陷定位、定量，确定这些缺陷是否影响焊缝中缺陷的检出，如果有影响，应在检验记录和报告中加以注明。
- b.测定材质对超声波的衰减情况，确定表面状态对声能传输的影响，以便检测时选定检测灵敏度补偿量。

8.1.2.3 焊缝检测

- a.检测翼板上位于焊缝根部的层状撕裂。
- b.检测翼板侧的角

8.1.3 斜探头检测

8.1.3.1 检测焊缝中纵向裂纹、根部裂纹、边壁或层间未熔合以及夹渣、气孔等。

8.1.3.2 检测焊缝中横向缺陷，如横向裂纹、针孔、运条中断等。

8.2 扫查

8.2.1 全面扫查

探头沿整个探测面上无一遗漏地循序移动，扫查间距应小于探头晶片直径或晶片宽度。全面扫查按探头相对于焊道的移动方式分为前后扫查，左右扫查及W形扫查。全面扫查主要用于粗检测，以发现母材或焊道中各种缺陷存在的大体方位和数量，对焊接缺陷的分布进行初步评价。

8.2.2 局部扫查

探头在探测面上只作局部范围的移动。主要用于精检测，对全面扫查已发现的缺陷进行精确地定量、定位。

a.直探头扫查时应采用直线扫查、格子扫查、缺陷轮廓扫查、点扫查等。 b.斜探头扫查时应采用摆动扫查、平行扫查、交叉扫查、定点转动扫查及串列扫查等。

8.2.3 扫查速度

扫查速度不大于0.15 m/s。

8.2.4 使用聚焦直探头测定未焊透宽度时(包括未熔合占宽在内)，为了提高测量精度，应使探头隔声片方向与焊道走向平行。测定缺陷长度或间距时，应使探头隔声片方向与缺陷长度或间距方向垂直。

9 灵敏度的设定

表3 检测灵敏度

表 3 检测灵敏度

检 验 等 级	检验灵敏度 dB
A	DAC +0
B	DAC +6
C	DAC +12

9.1 检测灵敏度

9.1.1 斜探头的检测灵敏度

9.1.1.1 灵敏度的基准设定应使用同一斜探头对DL-1型参考试块上不同位置的 ϕ 3mm横通孔进行扫查。

9.1.1.2 按第7.4条的规定制作距离波幅曲线，即DAC基准线。

9.1.1.3 根据DAC基准线按表3确定检测灵敏度，即M控制线。

9.1.2 直探头的检测灵敏度

对于各检验等级，直探头的检测灵敏度即实测 DAC基准线。

9.2 扫查灵敏度

本标准不规定最高扫查灵敏度，但最低扫查灵敏度至少应高于检测灵敏度 6dB。

10 焊接缺陷

10.1 点状缺陷

只有一个反射波高、指示长度不大于5mm的缺陷。

10.2 条状缺陷

长宽比大于3，指示长度大于5mm的缺陷。

10.3 纵向缺陷

平行或大致平行于焊道的条状缺陷。

10.4 横向缺陷

垂直或接近垂直于焊道的条状缺陷。

11 检测规定

11.1 点状缺陷的指示长度均按5mm计值。

11.2 相邻两缺陷作为单个缺陷的指示长度计值时应符合表4的规定。

表4 单个缺陷的指示长度mm

表 4 单个缺陷的指示长度			mm
检验等级	相邻两缺陷的各向间距 l	单个缺陷的指示长度	
A	$10< l \leqslant 3L_{mn}$	$L=L_m+L_n$	
B	$10< l \leqslant 4L_m$		
C	$10< l \leqslant 5L_m$		
A、B、C	$l \leqslant 10$	$L=L_m+L_n+l$	

注：表中 L_m 、 L_n 分别为相邻两缺陷的指示长度， L_m 为两者中较长的指示长度。

注：表中 L_m 、 L_n 分别为相邻两缺陷的指示长度， L_m 为两者中较长的指示长 度。

11.3 条状缺陷的指示长度的测定应采用半坡高度法(6dB法)或端点峰值法。

11.4 在非熔透性角焊缝中，判定根部未焊透的缺陷时，其首要条件必须是未熔合 占宽大于腹板厚度。

12 检测结果的质量分级

12.1 焊缝中允许不计数的点状缺陷，其各向最小间距应符合表5的规定。

表5 点状缺陷各向允许最小间距mm

表 5 点状缺陷各向允许最小间距					mm
缺陷 间距 焊脚尺寸	质量等级				
	I	II	III	IV	
$K \leq 25$	> 60	> 50	> 40	小于 III 级	
$K > 25$	> 50	> 40	> 30		

12.2 相邻点状缺陷各向最小间距小于表5规定时，按表4和表6的规定评级。

表6 条状缺陷的质量分级mm

表 6 条状缺陷的质量分级					mm
质量等级	指示长度 K		A	B	C
	检验等级				
I	$K \leq 25$		≤ 10	≤ 8	≤ 5
	$K > 25$		$\leq K/3$, 最大 20	$\leq K/4$, 最大 15	$\leq K/5$, 最大 8
II	$K \leq 25$		≤ 15	≤ 10	≤ 8
	$K > 25$		$\leq K/2$, 最大 30	$\leq K/3$, 最大 20	$\leq K/4$, 最大 15
III	$K \leq 25$		≤ 20	≤ 15	≤ 10
	$K > 25$		$\leq 2K/3$, 最大 40	$\leq K/3$, 最大 30	$\leq K/3$, 最大 20
IV	$K \leq 25$		缺陷长度大于 III 级者		
	$K > 25$				

注：对于 I 形坡口角焊缝，K 为焊脚尺寸；对于单 V 形、U 形、或双 V 形坡口角焊缝，K 为腹板厚度。

注：对于I形坡口角焊缝，K为焊脚尺寸；对于单V形、U形、或双V形 坡口角焊缝，K为腹板厚度。

12.3 条状缺陷应根据缺陷的指示长度按表6规定评级。

表7 条状缺陷允许的各向
最小间距 mm

表 7 条状缺陷允许的各向
最小间距 mm

检 验 等 级	各 向 最 小 间 距 l
A	$l > 3L_m$
B	$l > 4L_m$
C	$l > 5L_m$

注： L_m 为相邻两条状缺陷中较长的指示长度。

注： L_m 为相邻两条状缺陷中较长的指示长度。

12.4 条状缺陷允许的各向最小间距应符合表7的规定。

12.5 每条焊缝端部30 mm范围内不得有条状缺陷。

12.6 I型坡口角焊缝，腹板端部允许未熔区域占宽 H 小于等于腹板厚度 δ ，但当 H 大于 δ 时，则多出部分($\Delta H=H-\delta$)属于根部未焊透。C检验级内不允许存在根部未焊透。B检验级内允许根部未焊透的指示长度为条状缺陷指示长度之半。A检验级内允许根部未焊透的指示长度与条状缺陷的指示长度相同。

12.7 熔透型角焊缝允许钝边未焊透的量限按第12.1条的I形坡口角焊缝根部未焊透处理。

12.8 焊缝中存在最大反射波幅低于M线的点状缺陷时，可评定为I级，但存在密集性缺陷时，应降级处理。

12.9 焊缝中存在反射波幅位于I区的非裂纹性缺陷时，可评为I级。

12.10 对异常反射信号当检验人员判定为裂纹等危害性缺陷时，无论其波幅及缺陷指示长度如何，该类焊缝均评为IV级。

12.11 在条状缺陷评定区内，同时存在未焊透与点状缺陷时，应各自评级，将二者级别之和减1作为最终级别。

12.12 按质量分级评为不合格的缺陷应予以返修，返修后的部位和受到返修影响的部位都应该用原检测条件进行复检和质量分级。

13 检验记录与报告

13.1 检验记录主要内容：工程名称、工件编号、焊缝编号、坡口形式、焊缝种类、母材材质、规格、表面质量、探伤方法、检验规程、检验标准、验收级别、检测比例、使用的仪器型号、探头规格、耦合剂、试块、扫描比例、检测灵敏度、所发现的超标缺陷及评定记录、检验人员及其资格等级和检验日期等。

13.2 检验报告主要内容有：工程名称、工件名称、工件编号、焊缝编号、检测部位示意图、检测比例、检验标准、验收等级、缺陷情况、探伤结论、检验人员的资格等级、检验人员和审核人员签字等。格式见附录 C。

13.3 检验记录和检验报告应存档并妥善保存10年以上。

附录 A

直探头表面声能损失的测定

(补充件)

A1 表面声能损失

超声波检测时因焊件表面粗糙度大于调节检测灵敏度所用试块的表面粗糙度而引起的耦合损失。

A2 试块要求

对比试块、待测试块的材质应和被检焊件的材质相同。

A3 探头应为实际检测时所用的直探头。

A4 测试步骤

图A1 直探头表面声能损失的测定

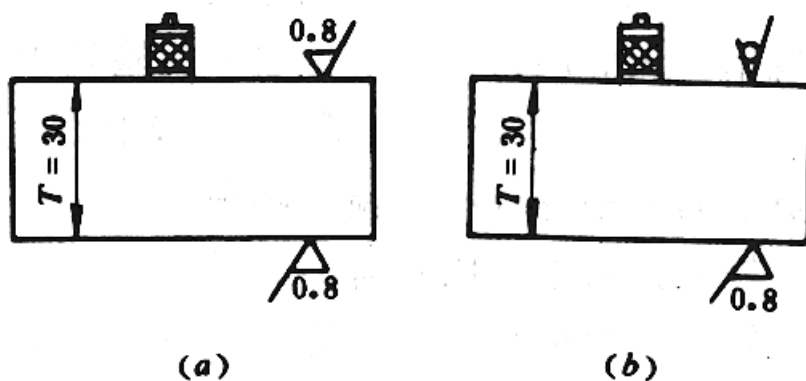


图 A1 直探头表面声能损失的测定
(a) 对比试块；(b) 待测试块

(a)对比试块；(b)待测试块

A4.1 待测试块的厚度与被检焊件厚度相同时的测试步骤

A4.1.1 将直探头置于图 A1(a)所示的对比试块上，预衰减 $N_1=20\text{dB}$ ，调增益，使底波 B_1 达满幅度的50%。

A4.1.2 将探头移至图 A1(b)所示的待测试块上，固定增益不动，调整衰减器使 B_1 波幅达50%，记录这时衰减器读数 N_2 值。

A4.1.3 计算二者表面耦合损失差的分贝值 Δ_1 。

$$\Delta_1 = N_1 - N_2$$

A4.2 待测试块与被检焊件厚度不同时的测试步骤

A4.2.1 算出待测试块与被检焊件的声程差的分贝量值 N_3 。

A4.2.2 在同样探测条件下，按A4.1条所述步骤求出对比试块与待测试块的表面耦合损失差的分贝值 Δ_1 。

A4.2.3 计算焊件表面直探头的声能损失差的分贝值 Δ_2 。

$$\Delta_2 = \Delta_1 - N_3$$

附录 B

斜探头表面声能损失的测定

(补充件)

B1 测试要求

用斜探头扫查 T形接头角焊缝时，应采用一次波法和二次波法，见图 B1所示。

图B1 斜探头表面声能损失的测定

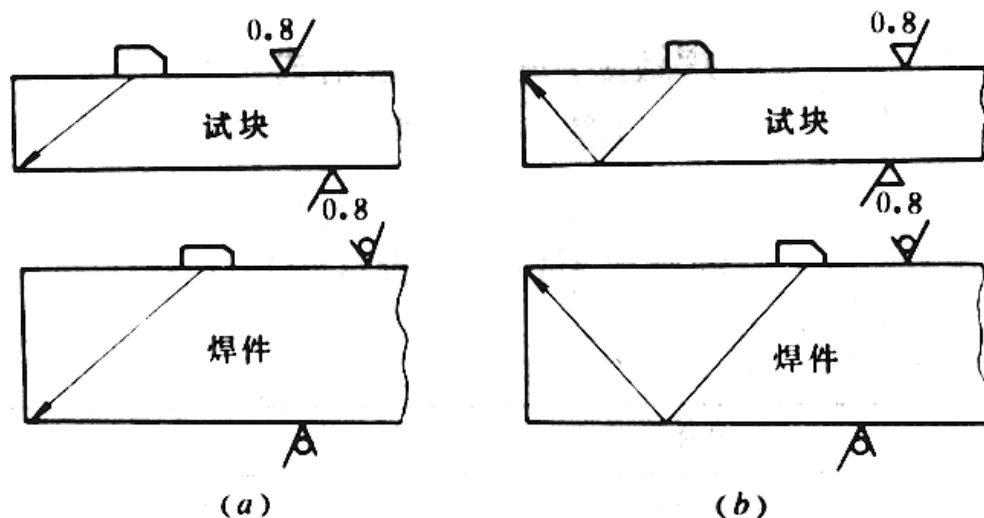


图 B1 斜探头表面声能损失的测定

(a) 一次波法；(b) 二次波法

(a)一次波法；(b)二次波法

B1.1 一次波法的声能损失只计入探测毛面声能损失差。

B1.2 二次波法应计入探测毛面与底部毛面两者的声能损失差之和。

B2 测试步骤

B2.1 在相同探测条件下，以单斜探头扫查被检焊件或对比试块上直角边反射波。

B2.2 扣除焊件和对比试块声程差的分贝数后，焊件和试块的直角边最高反射回波的分贝差值即为该斜探头的表面声能损失差。

附录 C

焊缝超声检验报告格式

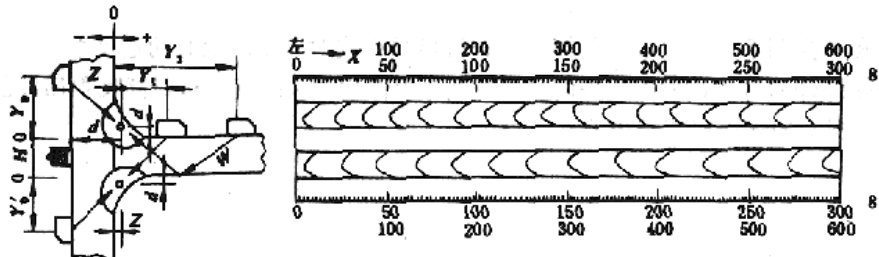
(参 考 件)

焊缝超声检验报告(一)

焊缝超声检验报告 (一)

UT_____

工程名称:	工件名称:	工件编号:
委托单位:	检验单位:	检测比率:
检测仪器:	探头规格:	耦合介质:
检验标准:	验收等级:	参考试块:
材质:	材料厚度:	/
	坡口形式:	焊接方法:



K= mm

检查部位	焊缝长 mm	实 测 β	缺 陷 位 置					波幅 区域	缺 陷 定 量			判定
			X	Y	W	d	Z		范围	指示长度	总长 Σ	

根部未焊透宽度边界点的测量结果

H——未焊透宽度
L——指示长度

缺陷位置及评价

						X	H	L	ΣL	评定

技术审核:

检 验 者:

中 五笔型码

UT_____

工程名称:	工件名称:	工件编号:
委托单位:	检验单位:	检测比率:
检测仪器:	探头规格:	耦合介质:

检验标准： 验收等级： 参考试块：

材质： 材料厚度： / 坡口形式： 焊接方法：

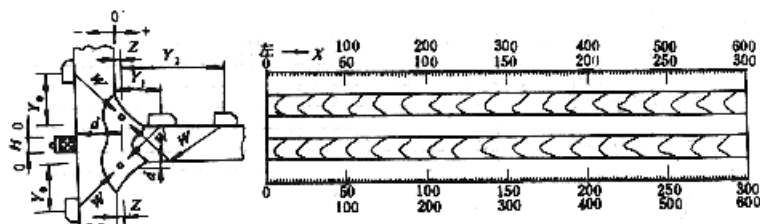
$K=$ mm

技 术 审 核： 检 验 者：
审 核 日 期： _____ 技术资格： _____ 检 验 日 期： __年__月__日

焊缝超声检验报告(二)

UT _____

工程名称:	工件名称:	工件编号:
委托单位:	检验单位:	检测比率:
检测仪器:	探头规格:	耦合介质:
检验标准:	验收等级:	参考试块:
材质:	材料厚度:	接口形式:
		焊接方法:

[illegible][illegible]

技术审核: 检验者:
审核日期: 技术资格: 检验日期: 年 月 日

UT_____

工程名称:	工件名称:	工件编号:
委托单位:	检验单位:	检测比率:

检测仪器：探头规格：耦合介质：

检验标准：验收等级：参考试块：

材质：材料厚度： / 坡口形式：焊接方法：

$K=$ mm

技术审核： 检验者：
审核日期： _____ 技术资格： _____ 检验日期_____： ____年__月_日

UT _____

[illegible][illegible]

UT_____

工程名称:	工件名称:	工件编号:
委托单位:	检验单位:	检测比率:

检测仪器： 探头规格： 耦合介质：

检验标准： 验收等级： 参考试块：

材质： 材料厚度： / 坡口形式： 焊接方法：

K= mm

技 术 审 核： 检 验 者：

审 核 日 期： _____ 技 术 资 格： _____ 检 验 日 期： ____年__月__日

附加说明：

本标准由电力工业部电力机械局提出。

本标准由电力工业部电力机械局归口。

本标准由郑州机械设计研究所起草。

本标准主要起草人：张明升、王诗瑜。