

石油天然气钢质管道对接焊缝 超声波探伤及质量分级

1 总则

1.0.1 根据石油天然气管线的特殊条件,确保管线的安全性,同时获得最佳经济效益,特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于壁厚为 5 ~ 30mm,管径为 57 ~ 1200mm 碳素钢和低合金钢石油天然气长输、集输及其他油气管道环向对接焊缝的超声波探伤与评级。

不适用于弯头与直管、带颈法兰与直管、回弯头与直管对接焊缝的超声波探伤与评级。

1.0.3 本标准规定了检验焊缝及热影响区的缺陷,并确定了缺陷位置、尺寸和缺陷评定的一般方法及探测结果的分级方法。

1.0.4 本标准只限于使用手工 A 型脉冲反射式超声波探伤仪。

1.0.5 从事管道焊缝超声波探伤的检验人员必须掌握超声波管道探伤的基础技术,具备足够的焊缝超声波探伤经验,并掌握一定的材料、焊接基本知识。

1.0.6 从事管道焊缝超声波探伤的检验人员应持有有关考核组织颁发的资格证书,从事与考核项目相对应的检验工作。

1.0.7 超声波检验人员的视力应每年检查一次,校正视力不低于 1.0。

1.0.8 引用标准包括:

GB 11345 钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果的分级

ZBY 230 A 型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件

ZBY 231 超声波探伤用探失性能测试方法

ZBY 344 超声波探伤用探头型号命名方法

ZBY 232 超声波探伤用 1 号标准试块技术条件

ZB3 04001 A 型脉冲反射式超声波探伤系统工作性能测试方法

1.0.9 本标准的用词说明见附录 L。

2 探伤仪、探头及系统性能

2.1 探伤仪

2.1.1 使用 A 型显示脉冲反射式超声波探伤仪,其工作频率范围至少为 1 ~ 5MHz,探伤仪应配备衰减器或增益控制器,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%。

2.1.2 超声波探伤仪的其他性能指标以及性能指标的测试方法应符合 ZBY 230《A 型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件》的规定。

2.1.3 在设备首次使用及每隔 3 个月应检查探伤仪的垂直线性和水平线性。

2.2 探头

2.2.1 采用工作频率为4~5MHz,前沿距离不大于12mm,晶片有效面积不大于96mm²的方晶片斜探头。但探测外径≤159mm管线环缝时,宜采用频率为5MHz的方晶片小径管专用探头。探头晶片边长不应大于8mm,前沿距离不应大于10mm,且探头的接触面应与管壁对中,吻合良好。

2.2.2 探头在钢中的折射角应符合表2.2.2的要求。

表 2.2.2 探头折射角或 K 值选择表

管壁厚度(mm)	探头折射角(°)	探头 K 值
5~8	71.5~68.2	3~2.5
>8~30	68.2~56.3	2.5~1.5

2.2.3 探头主声束垂直方向的偏离不应有明显的双峰,水平方向偏离角不应大于2°。

2.2.4 探头应按 ZBY 344《超声波探伤用探头型号命名方法》的规定做出标志。

2.2.5 对探测外径大于500mm管线环焊缝的探头其性能测试方法应符合 ZBY 231《超声波探伤用探性能测试方法》的规定。

对探测外径小于或等于500mm管线的环焊缝的探头,其性能测试方法应符合附录C的规定。

2.3 超声检测系统性能

2.3.1 系统有效灵敏度余量必须大于评定线灵敏度10dB以上。

2.3.2 超声束的近场分辨率应大于6dB。近场分辨率的侧测试方法应符合附录C的要求。

2.3.3 探头及系统性能必须按表2.3.3规定时间检查。

表 2.3.3 斜探头及系统性能检査周期表

检查项目	检 查 周 期
前沿距离	首次使用及每隔6个工作日
折射角或 K 值	首次使用及每隔6个工作日
灵敏度余量	首次使用、修补后及每隔一个月
分 辨 率	首次使用、修补后及每隔一个月
偏 斜 角	每次使用前

3 试块

3.0.1 本标准规定采用 SGB 试块和 SRB 试块。

3.0.2 SGB 试块用于测定探伤仪、探头和系统的性能以及对仪器做调整和校验。SGB 试块适用范围见表3.0.2,其形状见附录A。

表 3.0.2 SGB 试块适用范围表(mm)

编号	弧面半径 R	适用管外径 φ
SGB-1	30	57~89
SGB-2	48	>89~140
SGB-3	76	>140~210
SGB-4	120	>210~360
SGB-5	200	>360~600
SGB-6	平面	>600

3.0.3 SRB 试块用于比较焊缝根部未焊透深度。试块形状和尺寸应符合附录 B 的要求。

SRB 试块允许平行于轴线方向截取,便于现场携带。截取后的试块宽度不宜小于 50mm,避免出现端角反射。

3.0.4 试块应采用与被检材料相同或声学性能相近的钢材制成。其材料在 $\phi 2$ 平底孔灵敏度探伤时,不得出现大于以 $\phi 2$ 平底孔回波幅度 1/4 的缺陷信号。

4 检验前的准备

4.1 探伤面

4.1.1 检验区域的宽度应是焊缝本身再加上焊缝两侧各 10mm 一段区域。

4.1.2 探头移动区应清除焊缝飞溅、铁屑、油污及其他外部杂质,探伤表面应平整光滑,便于探头自由扫查,其表面粗糙度不应超过 $6.3\mu\text{m}$ 。

4.1.3 探头移动区的确定应符合下列要求:

4.1.3.1 采用直射法探伤时,探头移动区应大于 P 。

$$P = \delta K + 50 \dots\dots\dots (4.1.3-1)$$

式中 P ——探头移动区,mm;

δ ——板厚,mm,

K ——折射角正切值。

4.1.3.2 采用一、二次反射波探伤时,探头移动区为 P 。

$$P = n\delta K + 50 \dots\dots\dots (4.1.3-2)$$

式中 n ——一次反射时 $n = 2$,二次反射时 $n = 3$ 。

4.2 焊缝表面

4.2.1 焊缝表面应经外观检验合格,当焊缝表面及探伤面的不规则状态影响检验结果评定时,做适当的修磨,并做圆滑过渡。

4.3 探头参数选择

4.3.1 检验频率应在 4 ~ 5MHz 范围内选择,推荐选用 5MHz。

4.3.2 探头角度应依据被检管线壁厚,预期探测的缺陷种类,按表 2.2.2 的规定选择。应尽量使直射波扫查到焊缝根部以上区域,并垂直于主要缺陷的取向。

4.4 耦合剂

4.4.1 应选用适当的液体或糊状物作为耦合剂,耦合剂应具有良好的透声性和适宜的流动性,不应对人体和材料有损伤作用,同时便于检验后清理。典型的耦合剂为水、机油、甘油和浆糊,耦合剂中可加入适宜的润滑剂或活性剂,改善耦合性能。

4.4.2 在试块上调节仪器和检验产品应采用相同的耦合剂。

5 仪器调整与校验

5.0.1 时基扫描线刻度按比例调节,可代表缺陷水平距离、简化水平距离、深度 h 或声程 S ,应在 SGB 型试块上作时基扫描调节,扫描比例依据工件厚度和选用探头角度来确定,具体的调整方法见附录 D。

5.0.2 距离-波幅曲线(DAC)的绘制要求如下:

5.0.2.1 距离-波幅曲线应按所选用的仪器-探头系统在标准试块上的实测值(波幅)绘制,其绘制方法见附录 E,曲线由判废线 RL、定量线 SL 和评定线 EL 组成。实测绘制的距离-波幅曲线 DAC 为基准线,各线灵敏度见表 5.0.2,评定线至定量线以下为 I 区,定量线至判废线以下为 II 区,判废线及以上为 III 区(见图 5.0.2)。

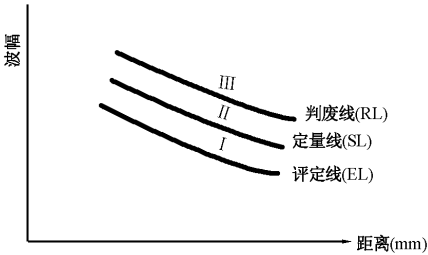


图 5.0.2 距离—波幅曲线

表 5.0.2 距离—波幅曲线灵敏度

管壁厚度 δ (mm)	$5 < \delta \leq 30$
判废线(RL)	DAC - 2dB
定量线(SL)	DAC - 8dB
评定线(EL)	DAC - 14dB

5.0.2.2 受检表面耦合损失应计入距离—波幅曲线,损失差的测定见附录 F,在最大跨距声程内最大传输损失差在 2dB 内不计。

5.0.2.3 在整个检验范围内,曲线应处于荧光屏满幅度的 20% 以上,如果做不到,可采用分段绘制的方法。

5.0.3 为发现和比较根部未焊透深度,应在 SRB 试块上测定人工矩形槽的反射波幅度,测定方法应符合附录 G 的要求。

5.0.4 每次检验前应在 SGB 试块上对时基扫描线比例和距离—波幅曲线灵敏度进行调节或校验,校验点应不少于 2 个。

5.0.5 检验过程中每间隔 4 小时或检验工作结束后应对时基扫描线和灵敏度进行校验,校验应在 SGB 试块上进行。

5.0.6 扫描调节校验时,如发现校验点反射波在扫描线上偏移超过原校验点刻度读数的 10% 或满刻度的 5% (两者取较小值),则扫描比例应重新调整,前次校验后已经记录的缺陷,位查参数应重新测定,并予以更正。

5.0.7 灵敏度校验时,如校验点的反射波比距离—波幅曲线降低 20% 或 2dB 以上,则仪器灵敏度应重新调整,而前次校验完后,检验的全部焊缝应重新检验。如校验点的反射波幅比距离曲线增加 20%,或 2dB 以上,仪器灵敏度应重新调整,已经记录的缺陷,应对缺陷尺寸参数重新测定并予以评定。

6 检验

6.0.1 检验前探伤人员应了解被检管线的材质、厚度、曲率、组对状况、坡口形式、焊接方法、焊缝种类、焊缝余高、焊缝宽度及沟槽等情况。

6.0.2 采用单面双侧直射法及一次反射法或二次反射法。

6.0.3 探伤灵敏度应不低于评定线灵敏度,对未焊透缺陷的探测灵敏度应不低于 SRB 试块人工矩形槽反射波峰值点高度。

6.0.4 扫查速度不大于 150mm/s,相邻两次探头移动间隔至少有探头宽度 10% 的重叠。

6.0.5 对波幅超过评定线的反射波应根据探头位置、方向,反射波在荧光屏上的波形和位置及 6.0.1 条的焊缝情况为判定是否为缺陷。为探测纵向缺陷,探头应垂直焊缝中心线做矩形扫查或锯齿形扫查,探头前后移动范围应保证能扫查全部焊缝截面及热影响区。

6.0.6 对反射波幅位于或超过定量线的缺陷以及判定为根部未焊透的缺陷,应确定其位置、最大反射波所在区域和缺陷指示长度,波幅测定允许误差 2dB。

6.0.7 缺陷最大反射波幅与定量线 SL 的 dB 差,记为 $SL \pm \text{dB}$ 。

6.0.8 缺陷位置以获得最大反射波的位置表示,根据相应的探头位置和反射波在荧光屏上的位置确定,在焊缝周向分度点为起点,沿介质流出方向投影,顺时针进行标记。深度标记是以缺陷最大反射波的深度值表示。

6.0.9 当缺陷反射波只有一个高点时,降低 6dB 相对灵敏度法测定缺陷指示长度,当缺陷反射波起伏变化,有多个高点时,则将缺陷两端反射波极大值之间探头的移动长度定为指示长度。

6.0.10 缺陷指示长度小于 10mm 时,按 5mm 计。

6.0.11 相邻两缺陷各向间距小于 8mm 时,两缺陷指示长度之和作为单个缺陷的指示长度。

7 缺陷评定及检验结果的等级分类

7.0.1 如缺陷信号具有裂纹等危害性缺陷特征,其波幅不受幅度限制,均评为 IV 级,如不能准确判定,应辅以其他检验作综合判定。

7.0.2 缺陷反射波幅位于定量线以下的非危害性缺陷均评为 I 级。

7.0.3 最大反射波位于 II 区的缺陷以及波高小于 SRB 试块人工矩形槽反射波峰值点的未焊透缺陷,应根据缺陷的指示长度,按表 7.0.3 的规定予以评定。

表 7.0.3 缺陷等级分类(mm)

评定等级	开口缺陷(未焊透)总长	非开口缺陷(条形缺陷)总长
I	不允许	不允许
II	4%L,且任意 300mm 内不大于 12	4%L,且任意 300mm 内不大于 25
III	8%L,且任意 300mm 内不大于 25	8%L,且任意 300mm 内不大于 50
IV	超过 III 级者	超过 III 级者

注:①L 为管道焊缝长度;

② 高低错口单侧未焊透,按非开口缺陷处理。

7.0.4 波高大于等于 SRB 试块人工矩形槽反射波峰值点的未焊透缺陷应评为 IV 级。

7.0.5 反射波幅位于判废线或 III 区的缺陷,无论指示长度如何,均评为 IV 级。

7.0.6 不合格的缺陷,应予返修。返修区域补焊后,返修部位及补焊受影响的区域,应按原探伤条件进行复验,复验部位的缺陷亦应按本章要求评定。

8 记录与报告

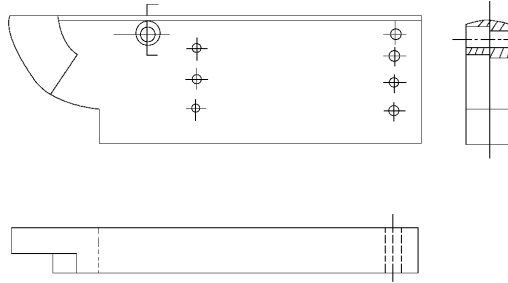
8.0.1 记录的主要内容:管线名称,编号,材质,规格,焊缝代号,焊工号,坡口形式,焊缝种类,表面情况探伤方法,检验规程,验收标准,使用仪器,探头参数,耦合剂,试块,扫描比例,探伤灵敏度,缺陷性质,指示长度,最大反射波高,指示长度小于表 7.0.3 的非开口缺陷,检验人员,检验日期。

8.0.2 报告内容:管线名称,规格,编号,类别,探伤方法,探伤比例,探伤部位,验收标准,缺陷情况,返修情况,探伤结论,检验人员及审核人员签字。报告应附有标明焊缝编号和探伤部位的管线系统图。

8.0.3 报告格式见附录 H。

附录 A

SGB 试块形状



附录 B

SRB 试块形状与尺寸

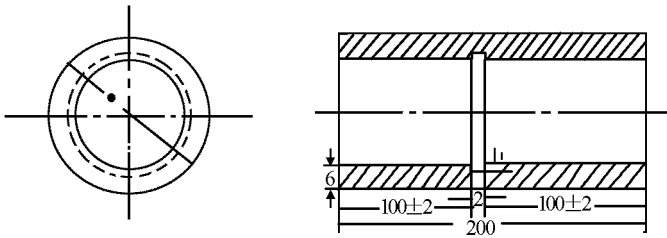


图 B SRB 试块形状与尺寸

ϕ —被检管线外径； δ —被检管线公称壁厚；

h —内壁环状矩形槽的槽深， $h = 10\% \delta$ 且 $h \leq 1.5 \text{ mm}$

附录 C

探头主要参数的测试方法

C.1 斜探头入射点及前沿距离的测定

C.1.1 按图 C.1.1 所示，将探头置于 SGB 基准试块的位置 1。

C.1.2 前后移动探头，向 R_25 、 R_50 圆弧面发射超声波，直到这两个弧面的回波幅度最大。

C.1.3 与 SGB 试块侧面圆弧中心记号刻线对应的探头侧面刻度点为入射点，入射点到探头前端的距离为前沿距离。用刻度尺测出前沿距离，读数应精确到 0.5mm。

C.2.1 按图 C.1.1 所示，将探头置于 SGB 试块的位置 3，观察深度为 30mm 的 $\phi 2$ 横通孔回波。

C.2.2 前后移动探头直到孔的回波最高，固定探头位置。

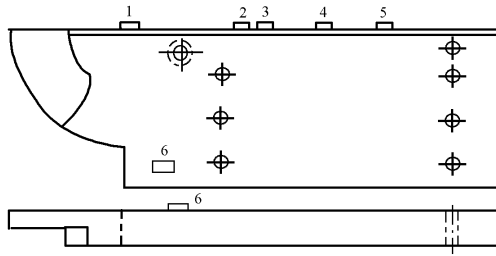


图 C.1.1 探头主要参数测试

C.2 斜探头折射角的测定。

C.2.3 折射角 β 的计算。

测定入射点到 $\phi 2$ 孔中心的水平距离 L ，

$$\text{则} \quad \beta = \arctg L/h \quad (\text{C.2.3})$$

式中 L ——入射点到 $\phi 2$ 孔中心水平距离；

h —— $\phi 2$ 孔中心与探测面垂直距离；

β ——斜探头折射角。

C.3 斜探头近场分辨力的测定

C.3.1 按图 C.1.1 所示,将被测斜探头置于 SGB 试块的位置 2 上,探测 $\phi 8, \phi 4$ 阶梯孔。

C.3.2 前后移动探头,适当调整衰减器,使 $\phi 8, \phi 4$ 两孔反射波高 h 相同,均为满幅度的 30% ~ 40%,记下衰减器读数 D_1 。

C.3.3 再调节衰减器,使 $\phi 8, \phi 4$ 两反射波之间的波谷上升到原波峰高度(见图 C.3.3),记下衰减器读数 D_2 。

C.3.4 衰减器的两次读数差 $D_2 - D_1$ (dB) 为仪器和探头组合分辨率。

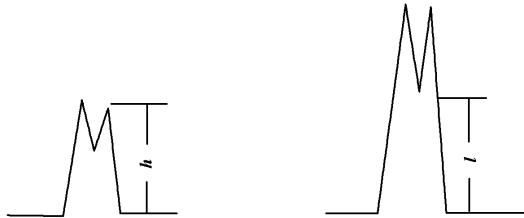


图 C.3.3 斜探头分辨率测定时荧光屏上的波形

C.4 斜探头主声束偏斜的测定

C.4.1 按图 C.1.1 所示,将探头置于 SGB 试块的位置 6,探测试块的下棱边。

C.4.2 前后移动和左右摆动探头,使所测棱边反射波达到最大值,然后固定探头,沿探头侧面在试块上划一条直线。

C.4.3 用量角器测量上述直线与试块棱边法线的夹角 θ 即声轴偏斜角。

C.5 主声轴有无双峰的测定

C.5.1 用斜探头探测 $\phi 2 \times 20$ 横通孔。

C.5.2 按图 C.1.1 所示,将探头分别置于位置 3,4,5,保持声轴与试块侧面平行,前后移动探头,使横孔反射波最高,并在附近位置前后移动探头,观察波形变化情况。

C. 5. 3 按上述方法依次探测不同深度的横孔,测定不同深度上声束垂直方向有无双峰(见图 C. 5. 3)。

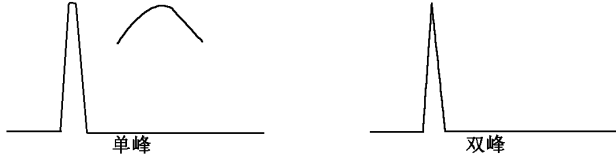


图 C. 5. 3 单、双峰示意图

附录 D

仪器扫描线的调整

D. 1 按水平距离调节仪器扫描线

D. 1. 1 计算图 D 所示的 SGB 试块 R_{25} 和 R_{50} 圆弧面反射波对应的水平距离 L_1, L_2

$$L_1 = \frac{K \cdot R_{25}}{\sqrt{1 + K^2}} \dots\dots\dots (D. 1. 1 - 1)$$

$$L_2 = \frac{K \cdot R_{50}}{\sqrt{1 + K^2}} \dots\dots\dots (D. 1. 1 - 2)$$

式中 K ——斜探头的实测 K 值。

D. 1. 2 将探头置于图 D 所示的位置上,使 R_{25} 和 R_{50} 圆弧面的反射波在荧光屏上均达到最大。

D. 1. 3 调节仪器的水平和微调旋钮,使 R_{25} 和 R_{50} 反射波分别对准荧光屏上的水平刻度线 L_1, L_2 ,则按水平距离调节的扫描速度为 1:1。

D. 2 按深度调节仪器扫描线

D. 2. 1 计算图 D 所示的 SGB 试块 R_{25} 和 R_{50} 圆弧面反射波对应的深度 d_1, d_2 。

$$d_1 = \frac{R_{25}}{\sqrt{1 + K^2}} \dots\dots\dots (d. 2. 1 - 1)$$

$$d_2 = \frac{R_{50}}{\sqrt{1 + k^2}} = 2d_1 \dots\dots\dots (d. 2. 1 - 2)$$

D. 2. 2 采用 D. 1. 2, D. 1. 3 的操作方法,使 R_{25} 和 R_{50} 反射波分别对准荧光屏上的水平刻度线 d_1, d_2 ,则按深度调节的扫描速度为 1:1。

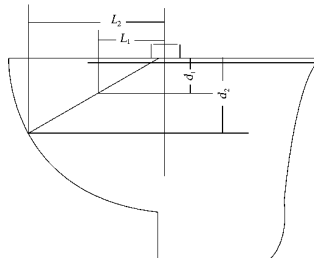


图 D 扫描线调节示意图

附录 E

DAC 曲线板绘制步骤

- E. 0.1 将测试范围调整到探伤使用最大探测范围,并按水平或深度法调整时基扫描比例。
- E. 0.2 依据工件曲率选择合适的基准试块 SGB,选取能产生最大反射波幅的横孔为第一基准孔。
- E. 0.3 调节“增益”,使该孔的反射波为荧光屏满幅度的 80%,将其峰值点标记在荧光屏前辅助面板上。依次探测其他横孔,并找到最大反射波高,分别将峰值点标记在辅助面板上,用曲线板连接各峰值点即成 DAC 曲线板。如果分段绘制可调节衰减器,提高基准孔的反射波高度,分段绘制曲线。
- E. 0.4 将灵敏度提高 8dB,将表示定量线灵敏度再提高 6aB 或降低 6dB,该线将分别代表评定线和判废线。

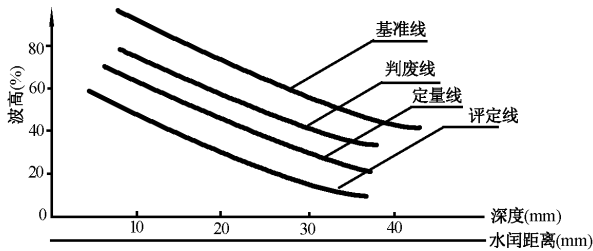


图 E 距离波幅曲线

附录 F

表面声能损失差的测定

- F. 0.1 取与工件同材质、同曲率、同厚度且表面粗糙度与 SGB 试块相同的曲面状试块。
- F. 0.2 用两个同型号的斜探头置于曲面试块的凸表面上,做一发一收探测,探头间距应约为实际检验时探头至焊缝截面中心距离的两倍。找到接收波的最大波幅,调节衰减器,使波高仍为满刻度的 60%。
- F. 0.3 用同样的方法,使斜探头置于工件上,不通过焊缝做一发一收的探测,再调节衰减器,使波高仍为满刻度的 60%。
- 衰减器的两次读数差,即为表面声能损失差。

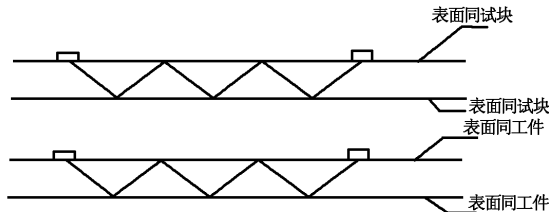


图 F 表面声能损失差的测定

附 录 G

对比试块的使用及根部缺陷 (未焊透) 探测灵敏度

G.0.1 在辅助面板图 E 上,保持仪器旋钮不变。

G.0.2 在所探管材上截取 200mm 长的一段,在 1/2 处加工矩形槽,槽宽为 2mm,槽长大于 40mm,槽深为壁厚 10%,且不大于 1.5mm,误差为 +10% ~ -20%。

G.0.3 探测矩形槽并找出最高反射波将其峰值点标记在辅助面板上,该峰值点波高即为未焊透缺陷的起始灵敏度。

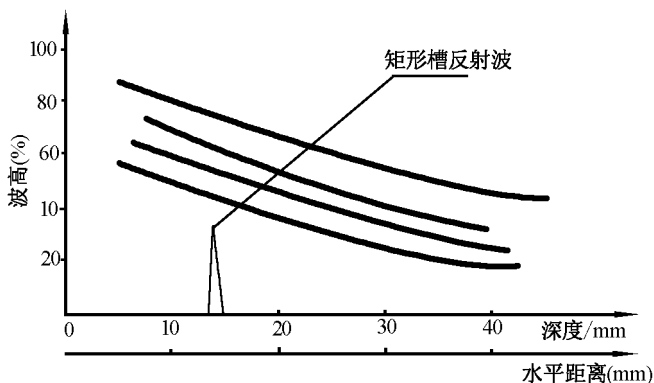


图 G 根部未焊透灵敏度标记示例

附 录 H

超声波探伤报告格式

超声探伤报告(正面)

管道名称		规格	
管道类别		材质	
编号		合格级别	
探伤方法		焊接方法	
表面状态		坡口型式	
耦合剂及耦合方式		仪器型号	
工作频率		增益	
抑制		扫描调节	
试块型号		探伤比例	
探头参数		晶片尺寸	
验收标准			

附管道系统图及缺陷部位图。

超声波探伤报告(背面)

报告编号

报告日期 年 月 日

焊口编号	缺陷编号	最大反射波幅	指示长度 (mm)	评级	一次返修	二次返修	备注

主管:

审核:

检验员:

附录 L

本标准用词说明

L.0.1 执行本标准条文时,对要求严格程度的用词作如下规定,以便执行时区别对待。

L.0.1.1 表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”;

反面词采用“严禁”。

L.0.1.2 表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:

正面词采用“应”;

反面词采用“不应”或“不得”。

L.0.1.3 对表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:

正面词采用“宜”或“可”;

反面词采用“不宜”。

L.0.2 条文中指定应按其他有关标准和规范执行的写法为:

L.0.2.1 “应按……执行”或“应符合……要求”或“规定”。

L.0.2.2 非必须按所指定的标准和规范执行的写法为“可参照……”。