

钢管焊缝超声波探伤探头角度及晶片尺寸的选择

薛永祥

(宝鸡石油钢管厂科技处 721008)

摘要 论述了钢管焊缝超声波探伤探头角度及晶片尺寸的选择原则,通过对影响超声波探伤因素的分析 and 理论计算,提出了不同条件下探头的选用原则。

关键词 焊管 焊缝 超声波探伤 探头 角度 晶片尺寸 选择 声程 曲率

1 引言

众所周知,对焊缝的超声波探伤大多采用斜角横波探伤法。这是为了克服探伤中的外在自然障碍(如埋弧焊的焊缝加强高度及高频焊的焊缝毛刺高度)和更好地发现焊缝中的缺陷而采取的探伤方法。因此,该探伤方法探头角度的选择(即倾斜角度的大小)对焊缝中缺陷的发现以及对缺陷的定位定量都十分重要。而探头角度的大小在平板焊缝探伤中主要取决于被探测工件厚度的变化,在钢管焊缝探伤中,除了与工件厚度有关外,还与钢管的曲率(t/D)有直接关系。

2 选择原则

横波探伤探头角度及晶片尺寸的选择主要遵循下列原则:

- (1) 折射声束基本上能扫查焊缝横断面;
- (2) 以一、二次波探伤为好,以便减少转换声能损失;
- (3) 尽量避开在近场区(N)内探伤。因为在近场区内,声束轴线上声压变化起伏较大,这对缺陷的定位及定量极为不利(见图1),但声程也不能太远,以避免由于材质衰减引起的灵敏度降低。一般情况下,探伤声程选择在 $1N \sim 5N$ 之间;
- (4) 探头晶片尺寸的选择同样要考虑近场区、指向性及钢管焊缝探伤接触面是曲面,

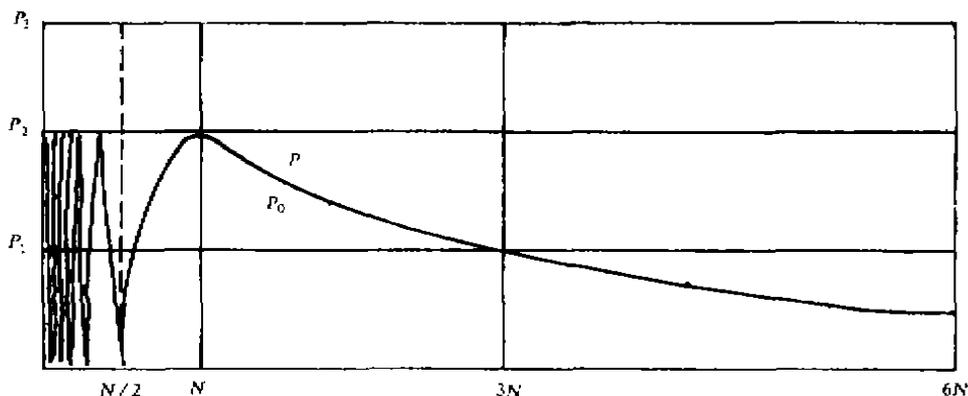


图1 圆盘源轴线上的声压

体积不能太大的原则,根据近场区计算公式和半扩散角(指向性)计算公式,一般情况下,晶片尺寸 D 选用 $\varnothing 14\text{mm}$ 或 $12 \times 12\text{mm}$;

(5) 钢管焊缝探伤,折射声束不能从管壁上表面直接射向上表面,以避免漏检和不必要的干扰。而且以探测焊缝中缺陷为主要目的,折射声束尽量与焊缝中的主要缺陷走向——即与焊缝上下表面近于成垂直分布走向的缺陷成垂直状态,以便获得较大的回波反射,这就给探头角度的选择带来了严格的要求。

3 影响因素及探头角度的选择

根据上述选择原则所涉及到的诸多影响因素,如探伤波次及声程范围对探伤灵敏度和探伤准确性的影响都与工件厚度和钢管的曲率有关,也就是说,工件厚度与钢管曲率是影响探伤波次和声程大小的主要参量,这从下面的探头角度的选择计算中明显可以看出。

(1) 平板焊缝探头角度的选择

如图 2 所示,将探头前沿紧贴焊缝放置,当折射声束中心线穿过焊缝中心时,折射声束基本能扫查焊缝截面,此时的折射角(β)为探测该工件厚度的较佳角度:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\frac{b}{2} + l_0}{\frac{t}{2}} = \frac{b + 2l_0}{t}$$

式中 b —焊缝宽度;

t —工件厚度;

l_0 —探头前沿长度。

计算举例:当 $b = 10\text{mm}$, $t = 8\text{mm}$, $l_0 = 10\text{mm}$ 时:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{b + 2l_0}{t} = \frac{10 + 2 \times 10}{8} = 3.75 = K$$

即工件厚度为 8mm ,焊缝宽度为 10mm ,所用探头 K 值为 3.75 。很显然,在焊缝宽度一定情况下,工件厚度小于 8mm ,其探头 K 值 > 3.75 ,工件厚度大于 8mm 时,其探头 K 值 < 3.75 。这是由于工件厚度的大小

直接影响着声程的变化,也直接关系着探头是否在近场区工作。确切地说,工件厚度较小时,为了不使探头在近场区工作,必须选择较大 K 值的探头,增加声程范围,并使折射声束尽量垂直于焊缝中与焊缝上下表面近乎垂直的缺陷,便于这类缺陷的检出,此公式的意义就在于此。

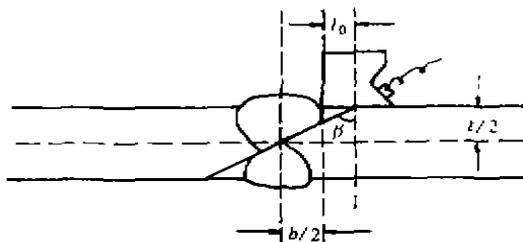


图 2 平板焊缝探伤探头角度的选择

(2) 钢管焊缝探伤探头角度的选择

见图 3 所示,为了计算的方便,以折射声束的外扩散边线与钢管内壁相切为最大的折射角,这时在 $\triangle AOC$ 里, $OC = r = \frac{D}{2} - t$, 其中: D 为钢管外径, t 为管壁厚度, $AO = \frac{D}{2}$ 。

$$\text{则: } \sin \beta' = \frac{OC}{AO} = \frac{\frac{D}{2} - t}{\frac{D}{2}} = \frac{D - 2t}{D} = 1 - \frac{2t}{D}$$

$$\therefore \frac{t}{D} = \frac{1}{2} (1 - \sin \beta')$$

式中 $\beta' = \beta + \theta$, θ 为半扩散角。

由此公式看出,折射角 β 与钢管管径、管壁厚以及它们的比值 (t/D) 有关。

计算举例:当 $t = 8\text{mm}$, $D = 219\text{mm}$, 根据上式: $\sin \beta' = 1 - \frac{2t}{D} = 1 - \frac{2 \times 8}{219} = 0.9269$

$$\therefore \beta' = 67.96^\circ$$

$$K = \operatorname{tg} \beta' = \operatorname{tg} 67.96^\circ = 2.47$$

根据计算,当 $t/D = 0.023$ 时,最大选用折射角为 70° ($K = 2.7$) 的探头; $t/D = 0.038$, 最大选用折射角为 65° ($K = 2.1$) 的探头; $t/D = 0.0569$, 最大选用折射角为 60° ($K = 1.7$)

的探头： $t/D = 0.1331$ ，最大选用折射角为 45° ($K=1$) 的探头……。

(*： β' 包括半扩散角 θ ，即 $\beta' = \beta + \theta$ 。在斜探头辐射的横波声场中，在声束轴线与界面法线所决定的人射平面内，声束不对称于声束轴线，声束的上半扩散角 $\theta_{\text{上}}$ 大于声束下半扩散角 $\theta_{\text{下}}$ ；在通过声束轴线与人射平面垂直的平面内，声束对称于轴线，这时的半扩散角计算公式为 $\theta = \arcsin 1.22 \frac{\lambda}{D} \approx 70 \frac{\lambda}{D}$ (圆盘源)，这时的扩散角最小。)

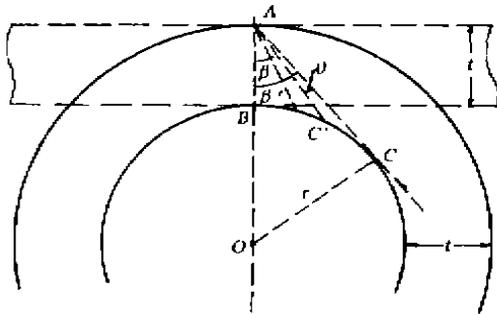


图 3 钢管焊缝探伤探头角度的选择

从图 3 及上述计算中，我们可以看出：

a) 同样厚度的平板焊缝和钢管焊缝探伤，计算出的探头 K 值是不一样的。探测钢管焊缝所选用的探头角度小于平板焊缝探头角度，这显然是由于曲率 (t/D) 的限制，为了保证折射声束到达钢管内壁，折射角度不可能选得太大，否则折射声束从钢管上表面仍射向钢管上表面 (因为钢管是圆的)，很可能造成漏检和不必要的干扰。一般情况下，平板焊缝探伤工件厚度在 20mm 以下时，探头 K 值选在大于 2.5 以上，这在一些标准中也有规定。而钢管焊缝探伤基本按上述原则选择，壁厚在 20mm 以下时，探头 K 值选在 2~3.0 为宜。

b) 上面计算钢管焊缝探伤的公式实际上还未考虑钢管焊缝的宽度，为了保证探测焊缝中的主要缺陷 (即与焊缝上下表面垂直

的缺陷)，探头 K 值尽量选大些，但仍要受到曲率的影响和限制。

c) 为实现一次波探伤，应有足够大的声程，以避免近场区，当然探头 K 值也要选大些，这从下面的计算中可得出结论。

以 $K_{1.5}$ 探头为例，探头晶片为 $\varnothing 14\text{mm}$ ，钢中横波声速 $C_s = 3230\text{m/s}$ ，探伤频率 $f = 2.5\text{MHz}$ ，有机玻璃的纵波声速 $C_L = 2730\text{m/s}$ ，入射点至实际声源的距离为 15mm，求在钢中的近场区长度：

$$\text{tg}\beta = 1.5, \beta = 56.3^\circ$$

$$\text{根据折射定律公式: } \frac{\sin\alpha}{C_L} = \frac{\sin\beta}{C_s}$$

$$\begin{aligned} \sin\alpha &= \frac{C_L}{C_s} \cdot \sin\beta \\ &= \frac{2730}{3230} \cdot \sin 56.3^\circ \\ &= 0.7032 \end{aligned}$$

$$\therefore \alpha = 44.69^\circ$$

$$\lambda_s = \frac{C_s}{f} = \frac{3230 \times 10^3}{2.5 \times 10^6} = 1.29\text{mm} \therefore \text{近场区}$$

$$\begin{aligned} \text{长度 } N &= \frac{R_s^2 \cdot \cos\beta}{\lambda_s \cdot \cos\alpha} - L_1 \cdot \frac{\text{tg}\alpha}{\text{tg}\beta} \\ &= \frac{7^2 \cdot \cos 56.3^\circ}{1.29 \cdot \cos 44.69^\circ} - 15 \times \frac{\text{tg} 44.69^\circ}{\text{tg} 56.3^\circ} \\ &= 29.64 - 9.89 \\ &= 19.75(\text{mm}) \end{aligned}$$

如果用一次波探伤，这时的声程 W_{s1} 为：

$$\frac{W_{s1}}{W_s} = \frac{t}{\cos\beta}$$

W_s 为声程修正系数，由于钢管曲率的影响，探测钢管的声程实际上比探测平板的声程要长些。 W_s 与 t/D 及所用的探头角度有关，当探测 $\varnothing 219\text{mm}$ 钢管，壁厚为 8mm，用 $K_{1.5}$ 探头，这时的 $W_s = 1.16$ (该修正系数在一定的图表中可查到，笔者已在另外的文章中介绍过。)

$$\begin{aligned} \therefore W_{s1} &= \frac{t}{\cos\beta} \cdot W_s = \frac{8}{\cos 56.3^\circ} \times 1.16 \\ &= 16.73(\text{mm}) \end{aligned}$$

显然用 $K_{1.5}$ 探头进行一次波探伤，它是在近场区内工作的，这显然是不准确的。

再以 K_2 探头为例, 其它条件不变, 这时的近场区长度:

$$\operatorname{tg} \beta = 2 \quad \therefore \beta = 63.43^\circ$$

同样根据折射定律公式:

$$\sin \alpha = \frac{C_c}{C_s} \cdot \sin \beta$$

$$= \frac{2730}{3230} \cdot \sin 63.43^\circ$$

$$= 0.756$$

$$\therefore \alpha = 49.11^\circ$$

$$\therefore N = \frac{R_s^2 \cdot \cos \beta}{\lambda_s \cdot \cos \alpha} - L_1 \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}$$

$$= \frac{7^2 \cdot \cos 63.43^\circ}{1.29 \cos 49.11^\circ} - 15 \cdot \frac{\operatorname{tg} 49.11^\circ}{\operatorname{tg} 63.43^\circ}$$

$$\approx 25.95 - 8.66$$

$$\approx 17.3(\text{mm})$$

此时一次波的声程为:(取 $W_w = 1.3$)

$$W_{s1} = \frac{t}{\cos \beta} \cdot W_w$$

$$= \frac{8}{\cos 63.43^\circ} \times 1.3$$

$$= 23.25(\text{mm})$$

很显然, 用 K_2 探伤, 一次波的声程(23.25mm)大于近场区长度(17.3mm), 这时的探伤是准确可靠的。

4 结 语

(1) 焊缝超声波探伤大多采用斜角横波探伤法。斜角横波探伤选择探头 K 值尤为重要。因为探头角度的大小关系着对焊缝中的缺陷是否能检出, 以及对缺陷的定位、定量、定性是否准确等问题;

(上接第 27 页)

造中所有的积累误差均被消除, 定位精度得到可靠保证。

(4) 夹具上还要妥善安装一些挡铁屑板, 防止铁屑进入运动部位。

4 结 语

(2) 探头角度的大小主要取决于被检测工件的厚度。钢管焊缝探伤还与钢管的管径以及管壁厚与管径的比值 t/D (即曲率) 有关;

(3) 选择探头角度时应该考虑探伤灵敏度、材质衰减、声束指向性、缺陷在焊缝中的分布走向以及近场区干扰等因素的影响。这些因素在决定探头角度时其影响有时是矛盾的, 但以探测缺陷为主要目的, 尽量避开在近场区工作, 又不致使探伤灵敏度太低, 所以大多采用一、二次波探伤, 其声程范围在 1N~5N 之间。故而探伤角度在条件许可情况下, 尽可能选大些;

(4) 根据理论计算和实践经验以及探伤标准的规定, 平板焊缝探伤, 板厚在 20mm 以下时, 探头 K 值选择大于 2.5; 钢管焊缝探伤由于受其曲率影响, 探头 K 值选在 2.0~3.0 之间为宜。ERW 钢管焊缝的探伤, 其目的是检测高频焊缝区域的缺陷, 为了不使探测缺陷与内毛刺相混, 更应按照文中所述的选用原则和计算公式进行探头角度及晶片尺寸的选择。

参 考 文 献

1. 《超声波探伤》编写组编著: 超声波探伤, 水利电力出版社, 1985. 1.
2. 全国锅炉压力容器无损检测人员资格鉴定考核委员会编写: 超声波探伤, 劳动人事出版社, 1989. 7.

(收稿日期: 1998-10-24)

机械进给钢管自动平头倒棱机为我国中小焊管企业的平头倒棱精整工序技术改造提供了一种结构新颖价廉物美的专用设备。气动自定心平头倒棱夹具结构简单、体积小、定心精度高。有条件、有兴趣的厂家可以一试。

(收稿日期: 1997-10-06)