

文章编号：1002-025X(2002)06-0048-02

测算超声波探头频率的几种方法

肖世荣

(山东电力研究院, 山东 济南 250002)

摘要：主要介绍了超声波检测中包括算法在内的测量探头频率的 3 种方法。

关键词：探头；频率；测算；超声波测

中图分类号：TG444.1 文献标识码：B

1 前言

在对诸如奥氏体不锈钢、铸钢件等粗晶体材料焊缝进行超声波检测时，需采用 1~1.5 MHz 的低频率探头，因为高频率探头声波衰减过大，林状波太多不宜于检测，而检测螺栓等一些特殊部件时又往往要采用 5~10 MHz 的高频率探头，低于 2.5 MHz 的低频率探头不易于发现丝扣处的裂纹。如果在检测汽轮机和发电机等电站设备和一些重要的阀门的螺栓时，使用标称频率为 5 MHz 而实际频率小于等于 2.5 MHz 的探头，则很容易造成裂纹缺陷的漏检，这是非常危险的。笔者曾在有一小裂纹的螺栓上做过类似的试验，验证了 2.5 MHz 与 5 MHz 频率直探头对裂纹的敏感性。那么如何知道手中的探头的频率大小呢？

2 测算方法

2.1 在 ZB Y231 超声波探伤用探头性能测试方法标准中规定了采用示波器对超声波仪器上的回波进行测定，但是普通的二踪示波器因频带窄难以进行有效的测试，特别是对横波斜探头因反射信号较纵波探头弱得多，在普通的二踪示波器上较难进行测试；而高频宽带示波器又价格昂贵，一般的无损检测人员难以接触到此类仪器。

2.2 采用带有 RF(射频)功能的数字探伤仪(如汉威 HS600 型仪器)将回波用闸门标注后展开，然后读出相应的时间，用 $f = \frac{1}{t}$ 可计算出相应的频率，这种方法虽不很精确，但可以得到一个粗略值。

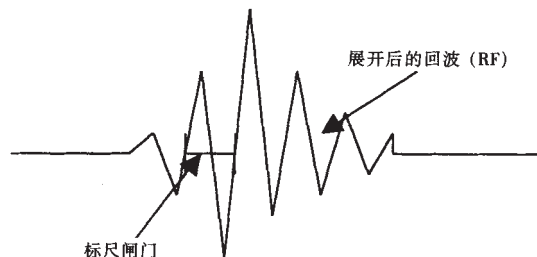


图 1

目前许多数字式探伤仪并不带有 RF 功能，所以也无法进行这种方法的测试。

2.3 用算法测定

在超声波的经典理论中知道，当被测工件距离 $\geq 3N$ (3

倍近场长) 时，大平底与平底孔之间满足如下公式

$$\Delta = 20 \lg \frac{2\lambda x_B^3}{\pi \phi^2 x_N} \quad (1)$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = c \times \frac{2\lambda x_B^3}{\pi \phi^2 x_N} \cdot 10^{-\frac{\Delta}{20}}, \quad (2)$$

式中 Δ 为大平底与平底孔波幅差，dB； λ 为波长，mm； c 为纵波在钢中的声速，m/s； N 为近场长，mm； f 为频率，MHz； ϕ 为平底孔直径，mm； x_ϕ 为平底孔至探测面距离 mm； x_B 为大平底至探测面距离，mm。以 5 MHz $\phi 14$ mm 直探头为例， $\lambda = 5.9/5 = 1.18$ mm， $N = 142/(4 \times 1.18) = 41.5$ mm， $3N = 125$ mm，所以在厚度 ≥ 150 mm 的试块上已能满足测试的需要，一般可用 80 mm \times 100 mm \times 170 mm 的标准方形(平底孔深 20 mm)试块，在该试块上可将 170 mm 无孔面作大平底。现 CS-1 型圆柱试块无论哪个面均不能作为大平底使用，因为该系列试块的底面不够大，使圆柱体本身有聚焦作用。

表 1 为几种常见直探头的近场长度计算表。

表 1

探头型号	波长/mm	近场长/mm	3 倍近场长/mm
2.5P20	2.36	42.4	127
2.5P14	2.36	20.8	63
5P14	1.18	41.5	125
10P7	0.59	20.8	63
10P10	0.59	42.4	127

表 2 为两个直探头在示波器与上述方形试块上 ($\phi 50$ mm $\phi 4$ mm 孔与 170 mm 大平底) 对比测试的结果 (测试仪器 HS510 数字式探伤仪)。

表 2

探头型号	探头标称频率/MHz	示波器测频值/MHz	大平底与平底孔波幅差 Δ 值/dB	式(2)计算出的频率/MHz
5P14Z	5	5	92 - 76 = 16	4.91
10P10Z	10	6.73	88.5 - 76.5 = 12	7.16

从表 2 中可以看出直探头算法求得的频率与用示波器得出的频率值较接近但也有一定误差，因此作为粗略估算，可以用算法代替用示波器的测试，但精确计算则不行。

在斜探头横波检测中，很难实现真正的“大平孔”。以 CSK-IA 试块为例，其 $R100$ mm 和 $R50$ mm 的两个圆弧都不是真正的大平底，其原因是圆弧面具有聚焦作用，从而使得反射的强度增大，圆弧反射波与标准反射体的差值会增大。

从传统的理论中可知， $\phi 1$ mm \times 6 mm 的短横孔与 $\phi 2$

mm 平底孔波幅相当, 从距离波幅曲线上也可以看出, $\phi 1$ mm \times 6 mm 孔的曲线规律与平底孔的曲线规律基本吻合, 那么 $\phi 1$ mm \times 6 mm 孔曲线与 $R100$ mm 的圆弧是否符合式 (1)? 表 3 为两个不同 K 值的探头在 CSK-ⅢA 试块上和 2.5P 13 mm \times 13 mm K0.8 探头在 1#对比试板上进行的对比试验。

表 3				
探头型号	1#板 反射波幅/dB	CSK-ⅢA 反射波幅/dB	理论 dB 差	实测 dB 差
2.5P 13 mm \times 13 mm K0.8	84 (s = 29, h = 21.9)	58 (h = 20, s = 26.3)	16.8	26
	79.5 (h = 29.8, s = 39.4)	56.5 (h = 29.4, s = 39)	20	23
	78 (h = 39.2, s = 51.5)	56.4 (h = 39.4, s = 52.3)	22	22

表 4 为几个探头在 CSK-ⅠA 试块上与在 CSK-ⅢA 试块上的对比情况。

表 4					
探头型号	探头内声程 值/mm	CSK-ⅠA 反射波幅 /dB	CSK-ⅢA 反射波幅/dB	理论 dB 差	实测 dB 差
2.5P 13 mm \times 13 mm K0.8	9.9	81.5	58 (h = 20, s = 26.3)	7.7	22.5
			56.5 (h = 29.4, s = 39)	13	25
			56.4 (h = 39.4, s = 52.3)	17	25.1
5P 8 mm \times 12 mm K1.5	8	72	40.8 (h = 50, s = 91)	19.4	31.2
2.5P 14 mm \times 16 mm K1	8.9	84	43.4 (h = 109.5, s = 151.6)	32.7	40.6
2.5P 13 mm \times 13 mm K2	11.3	77.4	37.7	29.1	39.7
2.5P 10 mm \times 12 mm K2.5	8.5	80.3	43.8	23.8	36.5

斜探头的近场长

$$N = \frac{F_s}{\pi \lambda_s} \cdot \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} - L_1 \frac{\lg \beta}{\lg \alpha}, \quad (3)$$

其中 L_1 为入射点至波源的距离, mm。

用 2.5P 13 mm \times 13 mm K0.8 的探头, 通过式 (3) 可计算出近场长为: $N = \frac{13 \times 13}{1.29 \pi} \frac{\cos 40.56^\circ}{\cos 33.34^\circ} - 10.9 = 27$ mm, $3N = 81$ mm。

通过上述数据可知在 $2N$ 以上的距离时, 在 1#试块的大平底与平底孔之间的声压关系理论值与实测值已基本相符。

通过实测情况发现按大平底计算 $R100$ mm 圆弧反射的放大作用约为 8 ~ 12 dB, 平均为 10 dB 左右 (其中小 K 值探头放大作用小, 大 K 值探头放大作用大), 其原因是因为在一个圆柱体中大平底的声压公式中应有 $10\lg(D/d)$, 其中 D 为 100 + 每一探头内的声程, 而 d 则为探头内的声程, 将这一项加入后再计算, 发现理论值与实测值非常接近。所以一般情况下即 $R100$ mm 的反射波幅值 $-10\lg(D/d)$ dB 可以作为大平底来看待。将表 4 中的数据代入式 (1) (其中 $R100$ mm 的波幅 -10 dB) 后发现其在斜探头上可以实现 “大平底与平底孔或大平底与 $\phi 1$ mm \times 6 mm 孔的理论值与实测值的对应”, 由此也可以实现公式 (2) 用 L_w 区以外的 $\phi 1$ mm \times 6

mm 与 $R100$ mm 圆弧的比较来测试斜探头的频率。但如果我们将 $R100$ mm 圆弧作为一个凹形圆柱体看更为合适。

式 (4) 为 $\phi 1$ mm \times 6 mm 短横孔与圆柱圆弧面声压公式的分贝差,

$$\Delta = 20\lg \frac{x_0^2}{3} \cdot \frac{c_s}{f} \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot F_e \cdot x_B}}, \quad (4)$$

其中 F 为探头的面积, F_e 为有效面积, 即:

$$F_e = F \times \frac{\cos \beta}{\sqrt{1 - \frac{c_l^2}{c_s^2} \cdot \sin^2 \beta}} \quad (5)$$

其中 c_l 为有机玻璃中的纵波声速, m/s; c_s 为钢中的横波声速, m/s; β 为折射角, ($^\circ$)。

表 5 为按式 (4) 理论计算出的 $\phi 1$ mm \times 6 mm 孔与圆柱体反射面间波幅差与实测情况对比表。

表 5							
探头型号	标称频率/MHz	波长/mm	反射声程/mm	探头内声程/mm	理论波幅差/dB	实测波幅差/dB	误差 (理论值 - 实测值)/dB
13 mm \times 3 mm K2	2.5P	1.28	113.4	11.2	32.4	77.4 - 37.7 = 39.7	-7.3
10 mm \times 12 mm K2.4	2.5P	1.28	82.6	8.5	29	80.3 - 43.8 = 36.5	-7.5
14 mm \times 16 mm K0.94	2.5P	1.28	151.6	8.9	34.5	84 - 43.4 = 40.6	-6.1
8 mm \times 12 mm K1.5	5P	0.64	91	8	24.4	72 - 40.8 = 31.2	-6.8

从表 5 中可以看出用圆柱弧面与 $\phi 1$ mm 孔进行波幅比较, 理论值与实测值差 6 ~ 8 dB, 平均为 7 dB, 因式 (4) 为探头放置在圆心部位的公式, 与实际情况有差别, 所以应将误差消除, 从上述实测情况看, 该 “误差” 应在 6 ~ 8 dB, 平均 7 dB, 即圆弧反射波幅值 -7 dB 后再套用理论式 (4) 即可。

3 结论

在计算法中可以采用以下几个方法对探头频率进行计算。

(1) 对于直探头, 可以通过采用将其在 3 倍近场长外的大平底和平底孔试块上测波幅差, 然后代入大平底与平底孔的计算公式中求出探头的近似频率。

(2) 对于斜探头, 可以通过采用将其在 3 倍近场长外的 $\phi 1$ mm \times 6 mm 孔试块上和 $R100$ mm 的圆弧试块上 (CSK-ⅠA) 测波幅差, 然后将 CSK-ⅠA $R100$ mm 圆弧波幅值 $-10\lg(D/d)$ (其中 D 为 100 + 每一探头内的声程, 而 d 则为探头内的声程) 代入大平底与平底孔的计算公式中, 求出斜探头的近似频率。

(3) 对于斜探头, 也可用其在 CSK-ⅠA 试块上所测的 $R100$ mm 圆弧波幅值 -7 dB 后再套用式 (4) 计算出斜探头的近似频率, 采用该方法的计算值较为准确。

参考文献:

[1] 超声波探伤》编写组. 超声波探伤 [M]. 北京: 电力工业出版社, 1980.

作者简介: 肖世荣 (1963—), 男, 高级工程师, 现山东电力研究院锅检中心从事无损检测工作。 <http://www.cnki.net>