

PE 管超声检测试验

于润桥¹, 徐长英², 罗水云¹, 王龙文¹

(1. 南昌航空大学 无损检测技术教育部重点实验室, 南昌 330063;

2. 南昌航空大学 计算机学院, 南昌 330063)

摘要:测量了 PE 管的纵横波声速及 PE 管热熔焊缝声衰减系数, 确定了 PE 管材料的声学性能。采用小波域去噪理论去除噪声, 提高了检测回波的信噪比。试验表明, 超声检测方法适用于 PE 管热熔焊缝的焊接质量检测。

关键词:超声检测; PE 管; 声速; 声衰减系数; 信号处理

中图分类号: TG115.28; TQ317.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)02-0112-03

The Applications of Ultrasonic Testing for PE Pipe

YU Run-Qiao¹, XU Chang-Ying², LUO Shui-Yun¹, WANG Long-Wen¹

(1. Key Laboratory of Nondestructive Test (Ministry of Education), Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China; 2. Nanchang University of Aeronautics Faculty of Computing, Nanchang 330063, China)

Abstract: By measuring the longitudinal and shear wave velocity of PE pipe and its ultrasonic attenuation of hot-melt weld, the acoustic properties of PE pipe was determined. Wavelet denoising technique was used to remove noise, and it improved the monitoring of the echo signal-to-noise ratio. Experiments showed that ultrasonic testing method was suitable for the weld quality testing of PE pipe.

Keywords: Ultrasonic testing; PE pipe; Sound velocity; Ultrasonic attenuation; Signal processing

超高分子量聚乙烯是一种物理机械性能十分优异的热塑性工程材料, 由其加工而成的 PE 管具有耐腐蚀、密封性好和韧性好等特点, 近几年在管道输送及修复领域得到广泛应用^[1]。

PE 管的连接是整个 PE 管安装过程中最重要的工序, 连接技术的优劣直接关系到管道的运行寿命, 通常可采用热熔连接与电熔连接。目前常用于检验 PE 管焊接质量的方法为压力检测法, 该方法只能检测大的焊接缺陷, 对较小的焊接缺陷(如未焊透)则无能为力, 导致在 PE 管修复施工过程中质量事故时有发生。因此开展 PE 管热熔焊缝缺陷检测技术的研究对 PE 管的应用具有重要意义^[2-4]。

1 PE 管的超声纵横波声速测量

实际 PE 管热熔焊缝超声探伤中需要测量材料

的声速, 尤其是准确测量横波声速。声速的测量方法有多种, 但其基本原理都是声速=距离/时间。采用以计算机为处理中心的数字超声无损检测系统来测量纵横波声速。超声探伤仪选用 TS-2028 型数字式超声探伤仪, 探头采用 5P14Z, 5P20Z, 2.5P14Z 和 2.5P12×15K1 等多种纵波直探头和横波斜探头。模/数转换卡(A/D 卡)采样频率为 40 MHz。通过信号转接卡将全波(未检波信号, 即射频信号)和半波信号(检波的射频信号)在 PIV 计算机显示屏上显示并保存到硬盘上。超声回波信号通过处理软件可作放大、时间间隔提取和频谱分析等处理^[5]。

1.1 测量纵波声速

超声探头采用自行改进的宽带直探头 5P14Z, 中心频率 5 MHz, 带宽 3.1~6.9 MHz, 耦合剂为机油。用接触法在 PE 管试样中产生超声纵波, 将直探头置于加工平整的试样端面上, 测量底端的 1~5 次反射底波。试验中为减少随机干扰, 通过软件方法对采样信号进行 10 次累积平均滤波。图 1 为试

收稿日期: 2007-04-25

作者简介: 于润桥(1963—), 男, 教授, 研究方向为电磁超声检测技术、信号处理和系统工程应用。

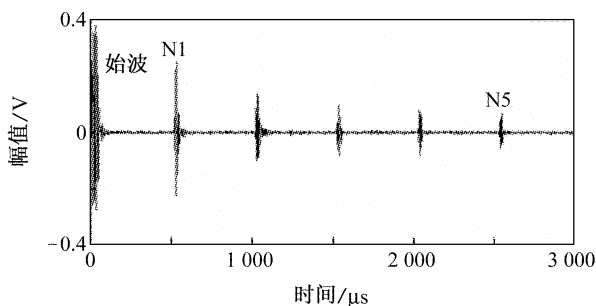


图1 超声波在试样中的多次反射回波

样的某次测量信号。

设一次底波的序号为 N1, 时间为 t_1 , 五次底波序号为 N5, 时间为 t_5 ; A/D 卡的采样频率为 f_s , 试样厚度用游标卡尺测得为 L , 则用一次底波和五次底波测得的纵波声速为:

$$C_l = \frac{2L(5-1)f_s}{(t_5 - t_1)} \quad (1)$$

上述方法影响测量精度的是时间间隔值和试样厚度值。试样厚度用游标卡尺测量, 最小精度为 0.02 mm, 时间间隔精度与 A/D 卡的采样频率 f_s 有关, 由此可得, 用一次底波和五次底波测量声速的误差范围为 ± 8 m/s。测得的 PE 管纵波声速如表 1 所示。

表1 PE 管纵波声速测量结果

试样	试样厚度 /mm	纵波声速 /m·s ⁻¹	试样	试样厚度 /mm	纵波声速 /m·s ⁻¹
1	37.96	2 641	4	15.54	2 923
2	18.44	2 525	5	16.28	2 568
3	40.02	2 360			

由于 PE 管材料的组织较粗大, 对超声能量的衰减较大, 导致不同方向上声速测量值有所差异。除测量误差外, 声速测量值也受探头在试样上的测量位置和方向的影响。

1.2 测量横波声速

与纵波声速测量相比, 横波声速的准确测量更困难。由于多数方法只能利用始波和一次底波测量横波声速, 测量结果的准确性不高。横波声速测量方法如图 2 所示, 采用横波斜探头(前沿长度为 L_0) 在试样的 AA 面上, 前后移动探头找到最高幅度的端角反射回波, 保存此 A 扫描波形。用卡尺量出端点到探头前端的距离 L_1 和试样厚度 L_A , 则从横波入射点算起的声程 $h_1 = \sqrt{L_A^2 + (L_1 + L_0)^2}$ 。同样, 在同一试样的 BB' 面上, 找到最高幅度的端角反射回波并保存 A 扫描波形, 声程 $h_2 =$

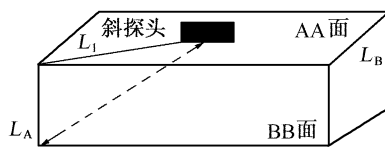


图2 横波声速测量

$\sqrt{L_B^2 + (L_2 + L_0)^2}$ 。通过软件分析这两个 A 扫描波形, 测得两个最高端角反射回波的时间间隔为 Δt , 则横波声速为:

$$C_s = \frac{2(h_2 - h_1)}{\Delta t} \quad (2)$$

实际操作中由于距离和探头前沿的测量误差较大, 横波声速测量误差也很大。对加工的 PE 管试样测量误差范围约 ± 75 m/s。采用自制的 1.25P12 $\times$ 15K1 斜探头, 以甘油为耦合剂, 测得 PE 管的横波声速为 1 632 m/s。

2 PE 管声衰减系数的测定

采用 TS-2028 型数字超声探伤仪和自制的 5P14Z 直探头测量声衰减系数。测量方法为: 对于厚度较小的上下底面相互平行的 PE 管试样, 将直探头放在其表面, 使声波在上下表面来回反射, 在示波屏上出现多次底波(图 3)。由于厚度小, 声束尚未扩散, 仍处于近场区, 其材质衰减系数 α 为:

$$\alpha = \frac{20 \lg \frac{B_m}{B_n} - \delta}{2(n-m)d} \quad (3)$$

式中 B_m, B_n ——第 m 次和 n 次底波高度;

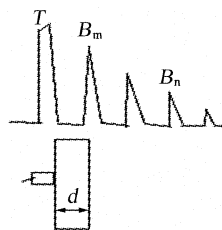
δ ——反射损失, 每次反射约为 0.5 ~ 1 dB, 对 PE 管取 1 dB;

d ——工件厚度。

几种典型 PE 管热熔焊缝材料试样的声衰减系数检测结果见表 2。而一般碳钢的声衰减系数为 0.03~0.01 dB/mm。

表2 PE 管热熔焊缝材料试样的声衰减系数测量结果

试样	尺寸 /mm	探头所放端面/mm	声衰减系数 /dB·mm ⁻¹
1	127×81×40	81×40	0.074
2	125×32×16	125×32	0.078
3	RB-φ3 试块	150×110	0.07
4	84×82×16	84×82	0.11
5	121×62×18	121×62	0.145



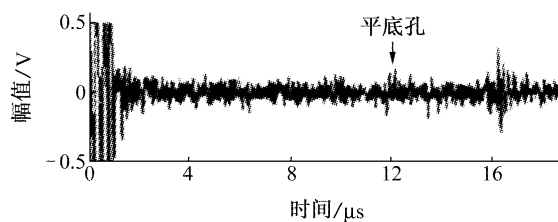
3 回波信号的小波处理技术

PE材料的晶粒大,超声波散射噪声强,缺陷回波湮没在草状和林状杂波中,基本无法区分缺陷波的位置和波幅大小,即无法进行超声检测。为此,应用Donoho的基于软阈值处理思想的小波域去噪理论,根据仪器电噪声、材料散射噪声和缺陷回波在多尺度小波变换下的特性给出一种随尺度变化阈值的确定方法,以尽量减小对去除噪声后的检测回波的损失。

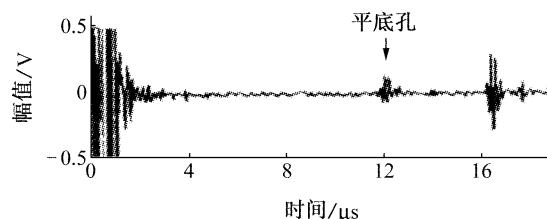
根据缺陷回波信号和噪声的小波变换特性,抑制杂波的结果如图4所示。图4a为加噪后的检测回波,平底孔回波湮没在强烈的噪声杂波中,难以分辨。图4b为采用去噪方法处理后的检测回波。很明显,处理前后平底孔回波的最大波幅基本不变,而经过去噪处理后噪声的最大波幅比原始回波降低了4.07倍,信噪比提高约12.2 dB。该去噪方法能保证超声定量探伤的准确性。

4 结语

建立了声速测量系统,对PE管的横、纵波速进行了测量,并且对几种典型PE管热熔焊缝材料试



(a) 加噪后的检测回波波形



(b) 对加噪回波处理后的波形

图4 采用小波处理前后波形对比

样的声衰减系数进行了测定。同时,由于PE材料晶粒散射噪声严重,提出一种基于二进离散小波变换软阈值的去噪方法,去噪效果良好。研究表明,超声检测是一种有效的用于的PE管热熔焊缝施工现场的无损检测方法。

(下转第126页)

(上接第111页)

的立方体试块上检测的声时值为 $21.3 \mu\text{s}$ 。如声时有 $0.4 \mu\text{s}$ 读数误差,则声速的误差为1.9%,代入 $F=0.001 2v^{5.880 8}$ 公式计算的强度误差为13%。所以,如果超声仪采样频率 $<2.5 \text{ MHz}$ 时,由零读数 t_0 引起的声时读数误差将很大。

智能型超声仪也具有采样频率为 10 MHz ,相邻采样点时间间隔为 $0.1 \mu\text{s}$ 的功能,即声时读数精度为 $\pm 0.1 \mu\text{s}$ 。但是通常此时智能型超声仪显示的波形周波很宽,首波与水平线的连接呈圆弧状,因首波不陡峭,时常会造成更大的读数误差,所以通常不采用 10 MHz 采样频率。但U-sonic智能型超声仪通过计算机程序处理,可在采样频率为 10 MHz 、声时读数精度为 $0.1 \mu\text{s}$ 的时候,超声接收波形仍然显示类似CTS-25型仪器的周波宽度适宜、首波较陡峭的波形。

5 结论

(1) 智能型超声波检测仪测量的声时读数在材料中传播的时间比模拟型超声波检测仪测量的时间

略长,两类仪器检测环氧树脂试件的声速相对误差为0.4%。

(2) 计算分析各种类型仪器的声时检测读数与修正处理后真实声时读数的偏差结果,发现影响匀质试件超声检测结果的原因是操作者开机时对超声仪扣除零读数 t_0 的准确性问题,试验误差与仪器的类型无关。

(3) 智能型超声波检测仪采样频率通常为 2.5 MHz ,此时波形的周波宽较适宜、首波较陡峭,相邻采样点时间间隔为 $0.4 \mu\text{s}$,仪器产生的声时偏差为2个采样点时,声时读数误差为 $\pm 0.4 \mu\text{s}$,声时读数误差将产生混凝土强度的计算误差。

(4) 如超声仪扣除零读数 t_0 不当,声时读数产生的误差在大试件上检测引起的声速误差一般较小,但是在小试件上检测时,引起的声速测量误差不容忽视。

参考文献:

- [1] CECS02—2005 超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程[S].

2 坐标法确定偏心距

2.1 坐标法

根据式(2),通过计算,得出一定条件下的 L_0 和 L_1 值,作出 L_0 与 L_1 之间的关系曲线,此为 L_0 - L_1 坐标法。它适用于所有满足透照条件的焊口。

2.2 L_0 - L_1 坐标的绘制

以透照 $\phi 48 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 的焊口为例绘制 L_0 - L_1 曲线。若焦点尺寸 $d_f = 2.5 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm}$, AB 级检验。实际测得焊缝宽度 $q = 10 \text{ mm}$ (图 2)。

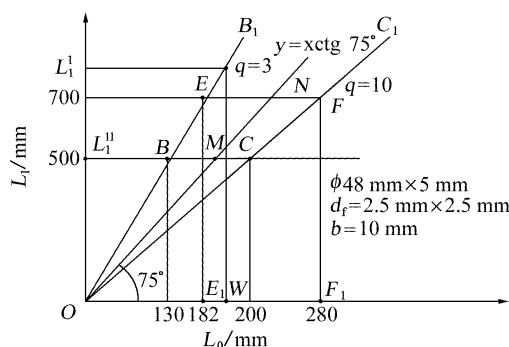


图 2 坐标法确定偏心距示意图

首先确定 L_1 值,由公式 $L_1 \geq 10d_f L_2^{2/3}$ (JB 4730 标准中 AB 级检验)得到 $L_1 \geq 340 \text{ mm}$;使用诺模图,查得 $L_{1\min} = 500 \text{ mm}$ 。所以 $L_1 \geq 500 \text{ mm}$ 。

根据 DL/T 821—2002^[2] 标准中规定,开口宽度以 3~10 mm 为宜。

当 $L_1 = 500 \text{ mm}$,取开口宽度 $q = 3 \text{ mm}$,代入式(2),得到 $L_{0(3)} = 130 \text{ mm}$,在坐标图上找到点 $B(130, 500)$,连接 OB ,并延长至 B_1 。

当 $L_1 = 500 \text{ mm}$,取开口宽度 $q = 10 \text{ mm}$,代入式(2),得到 $L_{0(10)} = 200 \text{ mm}$,在坐标图上找到点 $C(200, 500)$,连接 OC ,并延长至 C_1 ,连接 BC 。所以在 B_1BCC_1 区域内,任意一点 $D(x, y)$ 所对应的坐标 (L_0, L_1) 都能满足规程中的需要。

还须注意:使用 γ 射源或定向 X 射线机的窗口对着焊口探伤时(简称转角探伤), B_1BCC_1 区域内,

任意一点 $D(x, y)$ 所对应的坐标 (L_0, L_1) 都能满足规程中的需要。当使用定向 X 射线机窗口与管子平行探伤时,偏心距的数值是有限制的,超过此范围,就超出了射线束的照射范围。所以,如果取定向 X 射线机射线束的锥角 $\alpha = 30^\circ$,那么, $\text{tg}^{-1}(L_0/L_1) \leq \alpha/2 = 15^\circ$ 。所以 L_0 - L_1 曲线还应加上斜率是 $\text{ctg} 75^\circ$ 的 $y = x \text{ctg} 75^\circ$ 的直线 MN ,交 BC 于点 M 。区域 B_1BMN 即满足采用定向 X 射线机平行管子探伤时的区域。

2.3 L_0 - L_1 坐标法的制作时机

L_0 - L_1 坐标法确定偏心距可加入工艺卡中,在编制工艺卡的同时进行绘制。

2.4 L_0 - L_1 坐标法的应用

以透照 $\phi 48 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 的焊口为例,转角探伤见图 2。 $L_1 = 700 \text{ mm}$ 时,作平行于 X 轴的平行线交 OB 和 OC 于点 E 和 F 。过 E 和 F 作 L_0 轴的垂线 EE_1 和 FF_1 交 L_0 轴于点 E_1 和 F_1 ,得到 $L_{0(E_1)} = 182 \text{ mm}$; $L_{0(F_1)} = 280 \text{ mm}$ 。所以当 $L_1 = 700 \text{ mm}$ 时, L_0 可在 182~280 mm 之间选取,此时所对应的开口宽度为 3~10 mm。符合规程的要求。如果偏心距 $L_0 = W$, L_0 可在 L_1^1 与 L_1^{11} 之间选取。

3 结论

在工作中可根据现场条件,焊口的规格、数量、位置和仪器设备,合理地运用目测法、计算法、图表法和坐标法,可以提高检验速度。但是,由于焊接方法、坡口制备、根部间隙、焊接人员和焊接单位等各种因素致使母材规格相同的焊缝宽度不一定相同,所以施工单位应根据实际情况使用坐标法、图表法和计算法。

参考文献:

- [1] 强天鹏. 射线检测(锅炉压力容器无损检测Ⅲ级培训教材)[M]. 昆明:云南科技出版社,2001.
- [2] DL/T 821—2002 钢制承压管道对接焊接接头射线检验技术规程[S].

分析[J]. 安徽电子信息职业技术学院学报,2004,3(4):69.

- [4] 梅 胜. PE 管应用技术发展的现状及前景分析[J]. 广州大学学报,2004,3(3):276—280.

- [5] Munns I J, Georgiou G A, Abington U K. Ultrasonic and radiographic NDT of butt fusion welds in polyethylene pipe[D]. Watt University, Edinburgh, Scotland, UK; Plastic Pipes IX Heriot,1995:18—21.

(上接第 114 页)

参考文献:

- [1] 刘舜安. PE 管管材性能探讨[J]. 国外建材科技,2006,27(2):20—21.
- [2] 梁前明. PE 管材的新发展及其工程应用前景[J]. 国外建材科技,2003,24(5):14.
- [3] 钱 然,钱明权. PE 管材在给水系统实际应用的情况