

线阵扫描超声相关合成成像方法与实验

田浩 陶良 于石声 郭重雄

(哈尔滨工业大学航天工程与力学系 哈尔滨 150001)

1993年6月29日收到

本文讨论了改进的医用B超线阵扫描探头在工业无损检测中的应用。在合成孔径聚焦技术(SAFT)基础上提出了改进方法,在探元响应带宽较窄的情况下可获得较高信噪比的成像结果。文中介绍了成像系统,实验方法,并给出了一些实验结果。

ABSTRACT

This paper discusses the application of an improved medical B-scan linear array probe to industrial NDT. An improved method on the base of synthetic aperture focusing technique (SAFT) is developed, which can form an image with high signal-to-noise ratio (SNR) from narrow-bandwidth signal. The imaging system and the experimental method as well as some experimental results are presented.

一、前 言

SAFT 技术在成像无损检测中已有了一些成功的应用^[1,2],但还存在一些问题:其一、SAFT 成像的横向分辨率依赖于合成孔径的大小,而有效合成孔径的大小受探头扩散角的限制,扩散角的增大又将引起探头灵敏度降低,从而影响成像结果的信噪比^[3]。其二、机械扫描机构在实用方面带来设备复杂及检测速度和可靠性等方面的问题。本文提出用改进的医用B超线阵扫描探头进行 SAFT 成像,以期进一步提高检测速度和定位精度。但目前B超探头各探元的响应带宽较窄,且金属材料中超声波波长又较长,直接利用延迟相加(D&S)的方法难以获得理想的信噪比。

在原 SAFT 基本理论的基础上提出的相关度合成方法^[4]采用回波信号的合成相关度作为图像重建的判据,本文获得了较为理想的实验结果。

应用声学

二、理 论

通常 SAFT 采用延时叠加的方法。针对线阵探头基元是长方形晶片,合成振幅可由(1)式表示:

$$A(x_i, y_i) = \sum_{m=1}^M r_{mij} R_m(t_{mij}) \quad (1)$$

式中

$$r_{mij} = [(x_i - x_m)^2 + y_i^2]^{1/2} \quad (2)$$

是考虑声波扩散传播衰减特点(探元发射声波近似为柱面波, $R_m(t) \propto \frac{1}{\sqrt{r_{mij}}}$, 实验试块中的人工缺陷是横通孔,其回波亦可近似为柱面波,考虑距离“双程”性传播衰减变为 $\frac{1}{r_{mij}}$) 而引入的距离补偿系数, t_{mij} 是时移:

$$t_{mij} = 2r_{mij}/c \quad (3)$$

式中 c 是被测件中的纵波声速。式(1)中 $R_m(t)$ 是第 m 个探元接收到的回波信号, M 是探元总

数。由于像点的合成振幅值是各探元接收信号幅值的线性叠加，在回波脉冲宽度较大时造成信噪比降低，易出现伪像点。

考虑到缺陷回波信号的相关性，将原 *D&S* 算法的信号振幅线性叠加改为对一定孔径内信号的高阶 (P 阶, $P > 2$) 相关度的叠加，则可在一定程度上提高信噪比，如(4)式：

$$F(x_i, y_j) = \sum_{m=1}^{M-PL} \prod_{p=0}^{P-1} r_{(m+PL)ij} R_{m+PL}(t_{(m+PL)ij}) \quad (4)$$

式中 $F(x_i, y_j)$ 是点 (x_i, y_j) 处的 P 阶相关度合成值， P 是相关阵元数， L 是相关间隔。

三、实 验

我们在实验室建立了一套完整的超声波断面成像系统。由改进的 B 超线阵探头、改装的 CTS-23 型超声波探伤仪、自制的多通道宽频带放大器、实时 40MA/D 数据采样板和 AST-286 微机及一些辅助设备构成。

线阵扫描探头由 80 枚长 15mm、宽 1.2mm、中心间距 1.5mm 的晶片组成(图 1)，其工作主

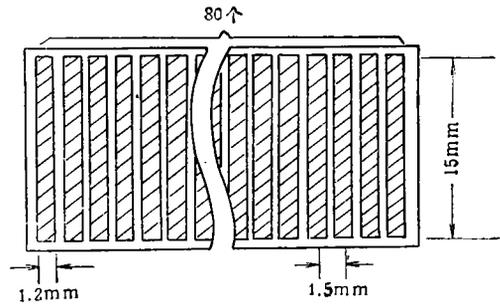


图 1 线阵扫描探头示意图

频为 5MHz，探元的扩散角在长度方向约 70° 。检测时，由微机控制 CTS-23 型超声波探伤仪顺序激励每个探元并由数据采样板采集该探元接收到的回波信号 $R_m(t)$ ，并传送到微机内存。当所有探元的接收信号都采集完后，微机进行相关合成处理，获得被测件的断面图像。

下面给出了一组实验结果，图 2(a) 是检测 $\Phi 3\text{mm}$ 横通孔的三维幅度分布。作为对比，图 2(b) 给出了用 SAFT 方法获得的同一孔的合成振幅分布。图 3 给出了检测 $\Phi 10\text{mm}$ 横通孔的相关合成断面图像。图 4 则是在缺陷分布范围较大(约 9cm)而中心间距约 10mm 的多

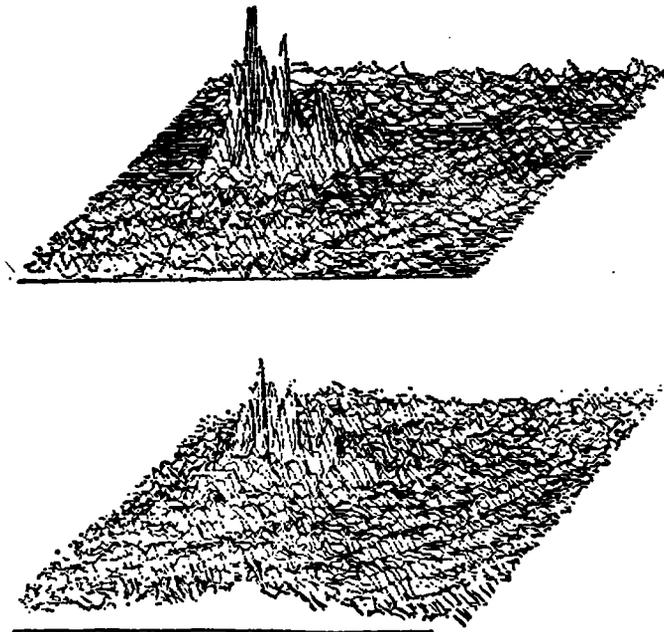
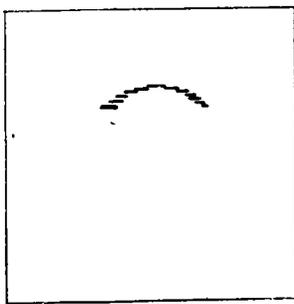
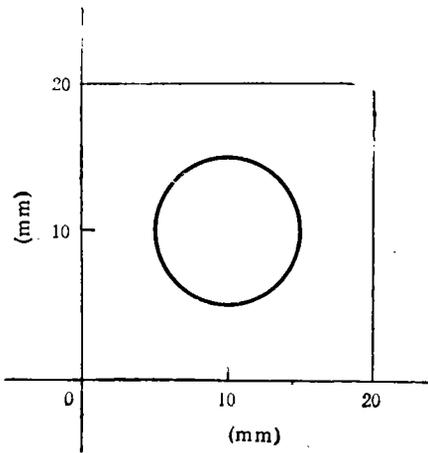
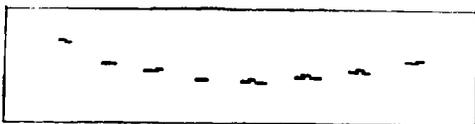
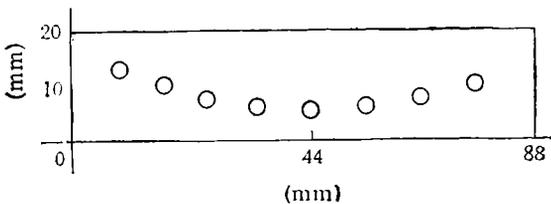


图 2 相关合成与 SAFT 合成三维幅度分布
(a) 合成相关度分布 (b) SAFT 合成振幅分布



窗长 = 20mm
窗宽 = 20mm

图3 $\Phi 10\text{mm}$ 圆孔相关合成断面图像
(a) 试块 (b) 断面图像



窗长 = 88mm
窗宽 = 20mm

图4 $\Phi 3\text{mm}$ 圆孔相关合成断面图像
(a) 试块 (b) 断面图像

个 $\Phi 3\text{mm}$ 横通孔的断面图像。

上述结果都是在 P 取 3、 L 取 3 条件下获得的,对图 3、图 4 的图像显示是采用阈值法^[3,5]获得的二值图像。根据具体实验结果对比发现,相关合成在阈值的选择范围上可比 SAFT 方法高约 3dB,而获得的图像结果与实际情况仍然吻合较好。图 2 给出的三维幅度分布亦定性地说明了相关合成结果的信噪比比 SAFT 高,尤其是在消除 SAFT 算法引入的噪声^[5]上效果较为明显。图 4 则显示出线阵探头合成孔径大,横向分辨率高的特点。

四、结 论

在 SAFT 基础上提出采用 B 超线阵探头进行信号相关度合成的超声成像方法有如下特点:系统简单可靠,由线阵探头固定位置检测,操作方便,并可以获得较理想的结果,具有一定的应用前景。该检测系统的优点是:1. 探元扩散角大,增大了有效合成孔径,提高了横向分辨率;2. 用相关度的叠加取代振幅叠加,提高了信噪比,使成像结果更为可靠。

目前,我们只获得了一些原理性结果,一些实验和数据处理方法中的具体参数有待于在进一步的研究中进行优化。

致谢 实验所用的线阵探头由汕头超声仪器研究所赠送,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Langenberg K. J., Berger M., Kreutter Th., et al, *NDT international* 19-3 (1986), 177—189.
- [2] Doctor S. R., Hall T. E. and Reid L. D., *NDT international* 19-3 (1986), 163—167.
- [3] 肖焕立,黄振福,郭成彬等,应用声学, 9-6(1990),11—16.
- [4] Guo Z. X., Tao L., Gao S. L., et al, *NDT&E International* 24-4 (1991), 203—206.
- [5] 陶良,高劭伦,于石声等,应用声学, 11-4(1992),29—32.