通常穿孔板共振结构的频谱。换言之,如果内 层膜用刚性穿孔板代替,则覆盖的金属薄膜已 不再能提高其吸声性能.由于增加了声质量,其 共振频率将有所偏移。



图 8 两层膜间用刚性支撑时的吸声系数 (虚线对应柔性连结时)

值得指出的是,两层膜之间的弹性支撑对 于吸声效果有着重要作用。如果两层膜之间用 刚性的金属细条加以支撑,则吸声系数将明显 降低(如图 8)。覆盖层的振动受到限制,两层 膜之间的耦合作用几乎丧失。当声波入射到外 层表面时,很难通过两层膜间的空气层激发内 层穿孔膜的振动,显然,在设计双层膜结构时, 认真选择适当的支撑(实际上是两层膜之间的 粘合处理)是十分重要的。

### 参考文献

- Ackermann U., Fuchs H.V., Rambausek N., Applied Acoustics 25(1988), 197.
- [2] Ackermann U., Fuchs H.V., Noise Control Engineering Journal 33 (1989), 57.
- [3] 赵松龄,噪声的降低与隔离(上册),同济大学出版社, 1985,113.

# 超声迟延相关合成断面成像检测技术

陶 良 高劲伦 于石声 郭重雄

(哈尔滨工业大学) 1991年5月14日收到

本文从实用性出发,提出了超声波无损检测的一项新技术——由线阵超声换能器的信号迟延相关 合成实现的断面成像检测技术.与现有的几种超声成像方法比较,具有装置简单、操作方便、可靠性较 好、实用性强等特点,尤其适用于中、大型及复杂表面工件的内部缺陷成像.因其较好的可靠性和重复 性,目前已应用于大型轴类的探伤.

# 一、引 言

目前在生产中广泛应用的超声波探伤技术 是A型显示缺陷当量法,即由缺陷的反射波高 度与人工平底孔等规则形状人工伤缺陷的反射 波高相比较来确定缺陷大小.由于实际缺陷的 复杂形状和取向,其检测结果常与真实情况相 差甚大,日益不能满足生产实际的需要.为准 确有效地重建缺陷,为断裂力学的计算提供可 靠依据,相应产生了 B 扫、C 扫以及较新出现的 ALOK、SAFT 等成像技术<sup>u-0</sup>. 然而,由于聚 焦声束、电子或机械扫查机构及水槽的使用,带 来了价格昂贵、设备复杂等问题,特别是对中、 大型工件难以广泛应用.

本文所述技术是基于合成孔径 聚 焦 技 术 (SAFT)的基本原理,为解决实际的需要而提 出的,具有以下特点

1. 使用平面换能器覆盖照射探伤区,不使用聚焦换能器和水槽.

应用声学

• 29 •

2. 换能器线阵排列、定点接收回波信号,没 有扫查机构等外设,尤其适用于中、大型工件或 复杂表面工件的成像。

3. 可在A型显示方法粗测所得缺陷位置附 近开设成像窗口,在窗口内由微机赋值计算扫 查进行缺陷断面图像的重建。

4. 由迟延相关合成算法重建图像,提高了 信噪比,以较少的数据量可获得较好质量的图像.

### 二、原 理

作者在本刊曾发表过 文章<sup>[5]</sup>,采用 通常 SAFT 成像中的延时振幅叠加方法<sup>[1-3]</sup>,即将各 接收换能器所接收到的缺陷散射信号,按假想 散射点的延时提取相应的幅值,叠加后根据合 成值的大小来判断该假想点是否为缺陷点.由 于时域信号与散射点位置的不一一对应,所产 生的算法噪声,在缺陷点较多时更加严重影响 了图像的信噪比,因而实用的可靠性不高.为 解决这一问题,通常 SAFT 采取了加大数据 量,即将理想的积分转化为合成孔径内很小间 距的逐点采集信号的求和的方法,因此需要较 精密的扫查传动机构等外设,同时较大的数据 量又影响了图像成像速度.

笔者经大量的实验、比较,兼顾分辨率、可 靠性以及实际应用的方便性,现提出一种迟延 信号相关合成的图像重建算法,提高了信噪比, 在一定程度上解决了数据量和图像信噪比之间 的矛盾。



如图 1,设点 A(x,y) 与发射换能器  $T_0$  距 离为 R,与接收换能器  $T_i$  距离为  $r_i$ ,若  $T_0$  在 i = 0 时刻发射一窄脉冲,则任一点 A(x,y)的 散射回波到达  $T_i$  处的延时为

 $\tau_i(x,y) = [R(x,y) + r_i(x,y)]/V$  (1) 式中 V 为声速.即 A 点若为缺陷点,则  $T_i$  接 收到的散射信号  $E_i(t)$ 在  $t = \tau_i(x, y)$  处有一 极值.由换能器阵列接收到的散射回波信号中 的相应幅值,按下式相关合成

$$E(x,y) = \sum_{i < j < k} \sum_{i < j < k} E_i[\tau_i(x,y)]$$

 $\cdot E_{i}[\tau_{i}(x,y)] \cdot E_{k}[\tau_{k}(x,y)] \quad (2)$ 

式中 n 是阵列中接收换能器的数目, k-i> m, m 是控制影响分辨率的相关孔径大小的 参 数.对于一个非缺陷点,在 i, k 三个换能器 所接收到的信号中相应幅值的乘积将很小,对 缺陷点则很大,再经合成后即能够在一定的数 据量下提高信噪比.对于我们工作中,线阵换 能器由一个发射兼接收和四个接收换能器组成 (n = 5)的具体情况,将m值取 2.

最后,将各点的相关合成值与阈值 E。比较即得重建图像

 $f(x,y) = \{Sgn[E(x,y)-E_0] + 1\}/2$ (3) 式中

 $f(\mathbf{x},\mathbf{y}) = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idiation in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idintrexes in the set of } \mathbf{x}, \mathbf{y} \end{pmatrix} = \begin{cases} 1 & \text{idi$ 

实验结果表明,这种由迟延信号的相关合成重建图像的方法,无论对于空洞形缺陷还是裂纹形缺陷,都有较为满意的结果。

### 三、图像重建装置和方法[5]

实际检测中,先由单探头脉冲反射法粗测 缺陷的大概位置,然后在此位置附近设一断面 成像窗口.成像时,将五个平面换能器如图 2 按 所测断面以线阵排列在工件上,四个接收换能 器 (*R*<sub>1</sub>、*R*<sub>2</sub>、*R*<sub>4</sub>、*R*<sub>5</sub>)以发射兼接收的换能器 *T*<sub>0</sub> 为中心左右各二等间距排列。由计算机控制的 接口电路以一固定重复频率触发超声脉冲发生 器,向 *T*。发送电脉冲,被 *T*。转换成大扩散角

11 卷 4 期



#### 图 2 装置原理图

声束脉冲对金属材料内部成像区做广角覆盖照 射,声波脉冲在工件内被缺陷散射后,由五个换 能器接收转换为电信号,经放大、量化后被计算 机以固定采样间隔采入对应于所开设成像窗口 内的一段数据.

首先由计算机对原始数据进行预处理, 负 值归零、保留正值,并将各路信号作最大值规格 化处理。计算机在成像窗口内逐点赋值计算扫 查,在每一扫查点上,根据几何关系算出假想由 该点散射的回波脉冲到达各换能器的迟延时间 r;(x,y),然后在预处理后的各路信号中提取相 应延时处的幅值  $E_i[\tau_i(x, y)]$ , 然后按前所述 进行相关合成,即得该点的合成值 E(x, y).最

后经一阈值 E。即可简单地消除噪声,获得较 好质量的重建图像。

## 四、成像实例

超声换能器采用窄脉冲直探头,工作频率 5MHz,脉冲发生器是经简单改装的 CTS-23 型探伤仪,微机用 IBM PC/AT 机, A/D 转换 接口是重复采样式,采样间隔 25ns,带有人工 缺陷的试块是 34CrNiMoV 合金钢锻件。试块 中的裂纹缺陷由线切割机加工。图3至图5给







a 试块

图 4 圆弧阵列换能器的断面成像



出了带缺陷试块及相应的重建图像。图6是汽 轮机叶轮探伤中的一个实例,用A型当量法测 得缺陷的大小是  $\phi$ 3.6 当量,据图6测得缺陷 长度为 11.2mm,判断为夹杂. 实测结果表 明,成像的横、纵分辨率都小于 2mm,定位误 差不超过 2mm,对裂纹长度的测量误差小于 10%。



## 五、结束语

本研究是在原有一些理论基础上,结合生产实际的需要而进行的,能够以简单的设备、方

便的操作、快速的算法,在较复杂外部条件下获 得较好的缺陷断面重建图像。对于锻件中的气 孔、夹杂、裂纹都得到了较为满意的结果。目 前,由本技术制造的成像**装**置已在哈尔滨汽轮 机厂应用于轴类的实际探伤。

本技术能解决一定的实际问题,但因数据 量的大量减少使成像精度不是很高。例如,由 于裂纹中部对超声波的反射比尖端更具方向 性,虽然裂纹的长度和走向可被准确反映,但重 建的裂纹有时不连续。变换阵列位置而增加适 量数据可望对此有所改善。

中国声学学会魏墨盦教授和李明轩教授曾 对本工作提出不少宝贵的意见,在此表示感谢。

### 参考文献

- [1] Langenberg K.J., Berger M., Kreutter Th., Mayer K. and Schmitz V., NDT international, 19-3(1986), 177-189.
- [2] Doctor S.R., Hall T.F. and Reid L.D., NDT international, 19-3(1986), 163-167.
- [3] 肖焕立,黄振福,郭成彬,应崇福,应用声学,9-6(1990), 11-16.
- [4] Grohs B., Barbain O.A., Kappers W.. Paul H., Licht R. and Höh F.W., Materials Evaluation, 40-1(1982), 84-89.
- [5] 郭重雄等,应用声学,9-4(1990),10-12.

# 一种环状行波超声马达

李东林 (哈尔读船舶工程学院水声所) 1991年5月4日收到

本文对环状行波超声马达的理论做了推导,构造了一例这种马达的样机,并就该样机的实验结果进行了总结.

一、引 言

超声马达是利用弹性固体表面的超声频振 动所致的摩擦效应,使得作为定子的弹性振动 体与压置于其上的弹性体转子之间产生摩擦驱

· 32 ·

动力而使转子运动。这种原理决定了超声马达 无论在结构形式还是在工作形式上均与现有的 电磁式马达相去甚远。

一般选用压电陶瓷作为超声频振动的激励 元件,至于超声马达的结构设计则是多种多样 的,但它们均可按振动模式的不同而划归为以

11 卷 4 期

1