

# 超声相控阵成像方法研究

燕会明<sup>1</sup>,宋文爱<sup>1,2</sup>,陈以方<sup>2</sup>

(1. 中北大学 信息与通信工程学院,太原 030051;2. 清华大学 机械工程系,北京 100084)

**摘要:**通过动态光弹法观察超声相控阵发射信号在固体中的传播特性,来确定超声回波信号同相位叠加积分路径。利用荷兰试块对以上方法进行验证,对获取的 22 路 A 扫描超声信号进行处理,以缺陷或试件边界处为虚拟焦点,逐点扫描。根据合成信号幅值不同,反映在图像上的灰度不同,实现 B 扫描成像,初步证明了该方法的可行性。

**关键词:**超声相控阵;动态光弹;聚焦

中图分类号:TB553;TG115.28

文献标识码:A

文章编号:1000-6656(2009)01-0023-02

## Research on Ultrasonic Phased Array Imaging

YAN Hui-Ming<sup>1</sup>, SONG Wen-Ai<sup>1,2</sup>, CHEN Yi-Fang<sup>2</sup>

(1. North University of China, Taiyuan 030051, China; 2. Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The scattering behavior of ultrasonic waves in inner obstacle of solid may be observed by the means of dynamic photo elasticity technique, and this will help us to understand the scattering characteristic. We found out ultrasonic receiving wave the integral path by observe transmitting signal of ultrasonic phased array. Then, validating the method using IIW test block, 22 signals A-scan are focused in crack and boundary of specimen, point by point scanning, added signals were different, so gray was different, achieving B-scan imaging, proving the method was available.

**Keywords:** Dynamic photo elasticity; Ultrasonic phased array; Focusing

超声相控阵技术已有近 20 多年的发展历史。近几年,随着电子技术和计算机技术的快速发展,超声相控阵技术发展尤为迅速。笔者利用动态光弹系统观察超声波在固体中的传播特性,根据几何声程差来反演缺陷形状和大小,以得到所关心区域的 B 扫描图像。

## 1 动态光弹法研究超声相控阵

动态光弹法能够直接观察声波在透明固体内部障碍物的散射行为,有利于理解障碍物的散射特性。因此,根据玻璃与相应金属相似的物理性能,可以用玻璃来模拟超声波在钢、铁和铝等非透明金属材料中的传播规律。在散射体过于复杂,脉冲理论计算

滞后于试验的情况下,除数值模拟外,动态光弹法能简单直观地显示散射过程。

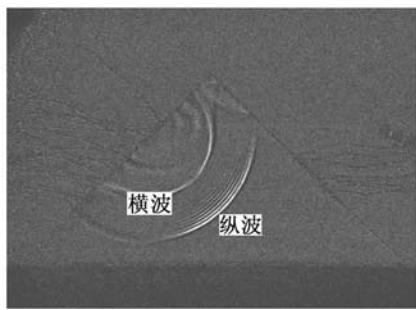
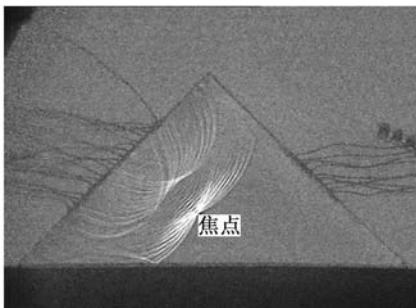
试验所用晶片频率  $f=5$  MHz,阵元宽度  $d=2$  mm,阵元间距  $a=2$  mm,阵元数  $N=20$ ,超声波纵波在玻璃块中的声速  $v=6\,000$  m/s,与钢中声速接近,因此,可以很好地说明超声波在钢件中的传播规律。

图 1 为单阵元发射超声脉冲在  $t=5.0\ \mu s$  时刻超声波在固体中的传播路径光弹图。从图中可看出,走在最前面的纵波波前最亮,说明纵波波前的能量最大,走在后面的为横波,纵波在固体中的声速比横波大,与理论相符。

图 2 通过控制各个阵元的发射延时,使得 20 个阵元所发射超声波波前在同一时刻到达同一点,形成一新的合成波阵面,在焦点处相干叠加增强,而在其它区域叠加减弱,甚至抵消。图 2 可见,只要控制好时间延迟,超声波在所聚焦区域的能量将大大增强。

收稿日期:2007-12-05

作者简介:燕会明(1980—),男,硕士研究生,研究方向为信号与信息处理。

图1 单个阵元光弹照片( $t=5.0\ \mu s$ )图2 阵列换能器发射超声波在  $h=25\text{ mm}$  处聚焦

## 2 试验

试验使用 IIW 试块(即荷兰试块),在试块凹槽正上方贴有 22 个紧密排列的晶片阵列,晶片尺寸为  $22\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ ,厚度为  $0.3\text{ mm}$ ,材质为 PZT-5,固有频率为  $6\text{ MHz}$ ,阵元间距  $a=1\text{ mm}$ 。凹槽宽度为  $2\text{ mm}$ ,虚

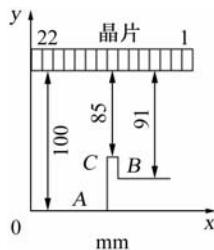
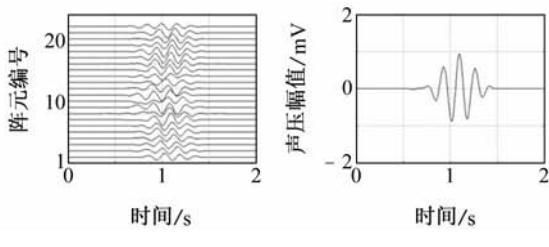
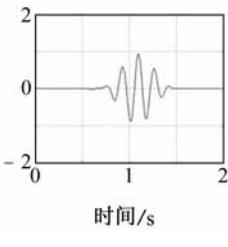


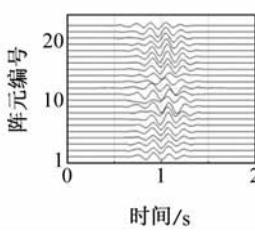
图3 试验所用坐标系



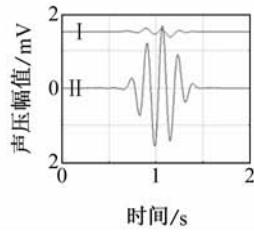
(a) 原始回波信号



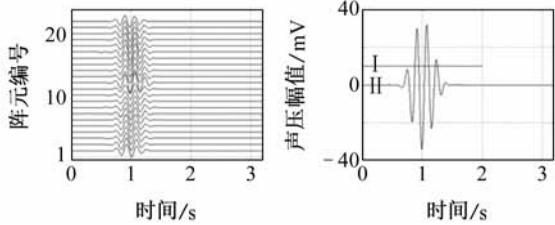
(b) 原始叠加信号



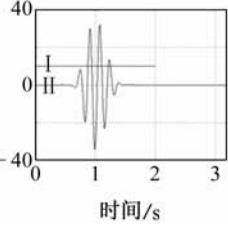
(c) 移相后各阵元回波信号



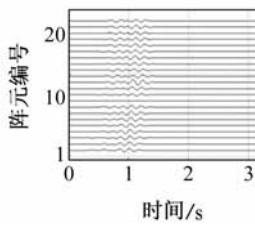
(d) 移相叠加信号

图4 12号晶片发射所有晶片接收的  $85\text{ mm}$  处回波信号

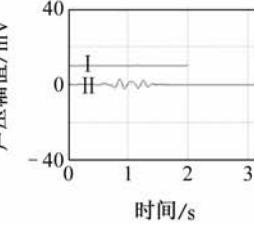
(a) 凹槽上的各阵元的回波信号



(b) 凹槽上的全阵元叠加回波信号



(c) 完好处的各阵元回波信号



(d) 完好处的全阵元叠加回波信号

图5 有/无缺陷回波的相控阵信号分析

拟焦点坐标为( $11.5\text{ mm}, 15\text{ mm}$ )(图 3)。

用同一信号分别激励各个阵元,将回波信号采集存入计算机<sup>[1]</sup>,采集的超声波回波信号为  $22 \times 22$  个。根据各晶片到达虚拟焦点的位置,计算出声程差并转换成时间差,把原本同时发射的信号进行平移,虚拟延时发射,定点聚焦。试验分两步对信号进行聚焦处理。

第一步,将单阵元发射所有阵元接收的信号进行声程差聚焦处理,得到的信号为各单阵元在虚拟焦点处相干叠加的总回波信号。

图 4 所示为 12 号晶片发射超声波,所有晶片接收到的回波信号组图。图 4a 表示接收到的原始回波信号,由于凹槽在 12 号晶片的正下方,从图中可以看出第 12 号信号线走在最前面,图 4b 为原始回波信号(没有经过移相)的所有 22 个信号的累加和,可以看出由于各个信号之间存在相位差,叠加后信号的幅值并不大。图 4c 表示根据声程差对每一条信号线移相后的结果,从图中可以看出,移相后的各个信号在相位上基本保持一致。图 4d 中 I 为 11 号阵元接收到的编号,II 为移相后所有信号的累加和,与图 4b 相比,其信号幅值提高一倍多,如果与图 4d 中 I 相比,信号在幅值上增大了 6 倍。依次类推,得到每一个单晶片发射超声波到达焦点处的叠加信号。

第二步,将第一步中所得回波信号根据发射聚焦算法在焦点处聚焦,得到所有  $22 \times 22$  个信号在焦点处的贡献。

图 5a 所示信号为以坐标( $11.5\text{ mm}, 15\text{ mm}$ )为

## 第十二届全国声发射学术研讨会征文通知

经第十届无损检测学会声发射专业委员会决定,由南京市锅炉压力容器检验研究院承办的第十二届全国声发射学术研讨会,将于 2009 年 7 月 30 日在江苏省南京市举行。在全国范围内征集有关研究及应用论文。

### 征文范围:

- ① 声发射技术进展评述
- ② 传感器(标定、研制及标准化)
- ③ 声发射仪器及信号分析(仪器研制、系统标定、信号处理和分析等)
- ④ 材料声发射和源特征表征(如陶瓷材料、复合材料、金属材料、水泥、岩石和木材等)
- ⑤ 结构检测中的应用(如压力容器、管道、起重机械、反应堆、宇航结构、海上平台、运输设备、桥梁和船舶等)
- ⑥ 制造工艺监测(磨损监测、焊接监测和机械加工监测等)
- ⑦ 医学方面的应用
- ⑧ 地质、矿山、民用建筑、地下工程和大坝等方面的应用

⑨ 标准和解释

⑩ 其他

### 投稿要求:

请将论文摘要按 A4 纸规格,通过电子邮箱、传真或邮寄到研讨会秘书处。摘要一律用中文撰写,且须在论文题目下写明作者的姓名、单位、地址和邮编。摘要应简要介绍论文的主要观点,字数在 200 字左右。论文录取后,有关论文的具体要求将在寄发论文录用通知时一并告知。

**摘要截稿日期:**2009 年 3 月 30 日

**通知录用日期:**2009 年 4 月 15 日

**论文截止日期:**2009 年 6 月 30 日

联系 电 话: 025-84545920, 84545007; 025-84545860; 13701476641, 13813894959, 13913944673

联系人:蒋俊,易容,梁斌

电子信箱: njbpvijiangjun@163.com, njbpvi@163.com

通信地址:南京市洪武路 340 号南京锅检院

邮编:210002。

(南京市锅炉压力容器检验研究院)



虚拟焦点,由第一步得到的信号经过第二步移相后得到的信号组图,图 5b 中 II 为图 5a 的信号叠加结果,可以看出为 I 的 130 多倍。实际上坐标(11.5 mm, 15 mm)处恰为荷兰试块凹槽位置。图 5c 为以坐标(16 mm, 15 mm)为虚拟焦点,由第一步得到的信号经过移相后的信号组图,所有信号的相位已经发生很明显的错位,图 5d 为 5c 信号的叠加,可看出,信号的幅值已经大大降低。这说明在(16 mm, 15 mm)处并不存在缺陷,与实际相符。现在,如果把换能器正下方接收的所有信号都按照以上方法进行逐点扫描,根据每一虚拟焦点处最终合成信号的幅值不同,反映到图像上表现为图像灰度不同,则可以得到整个关心区域的 B 扫描图(图 6)。图中 A, B 和 C 与图 3 中 A, B 和 C 一一对应,分别表示荷兰试块中的三个台阶。

### 3 结论

应用动态光弹法先对相控阵超声信号在固体中的聚焦规律进行分析,然后根据分析结果进行试验验证,得到了预期的效果。该研究为下一步加跟踪窗和滤波反投影等信号处理工作奠定了良好的基础。

### 参考文献:

- [1] 杨 奕,陈以方,曾 阳.阵列超声场的信号采集与处理系统[J].电子技术应用,2003,29(4):41—43.

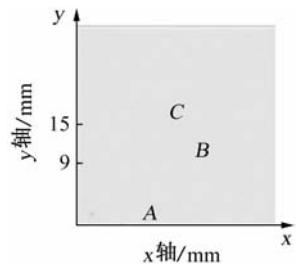


图 6 换能器正下方的 B 扫描图