

# 超声换能器频率特性和探伤仪接收放大器性能及测试方法

张泽琦 张 坚

(上海交通大学电机系, 上海 200030)

**摘 要** 讨论当前国内超声换能器频率特性及探伤仪接收放大器的性能对探伤的影响, 并提出了测试方法以提高缺陷定量的准确性及系统的一致性。

**主题词** 超声检验 换能器 超声波探伤仪 测试 性能

## FREQUENCY CHARACTERISTICS OF ULTRASONIC TRANSDUCERS AND PERFORMANCE OF THE RECEIVING AMPLIFIER OF FLAW DETECTOR: IMPORTANCE AND TEST METHOD

Zhang Zheqi Zhang Jian

(Shanghai Jiaotong University)

**Abstract** The effect of transducer frequency characteristics and performance of the receiving amplifier of a flaw detector on ultrasonic testing is discussed. Their test methods are put forward to improve the accuracy of flaw sizing and the consistency of a system.

**Keywords** Ultrasonic inspection Transducer Ultrasonic flaw detector Test Performance

超声探伤在各种重要设备的无损检测中已成为最普遍采用的方法之一, 为保证设备产品的质量和确保设备的安全运行, 检测结果的可靠性是极其重要的。对超声探伤系统来说, 检测结果可靠性的影响因素是多方面的, 其中包括系统中的换能器(探头)及探伤仪各自的性能, 而国内大部分生产超声探伤用换能器的单位对其性能要求及技术参数的测量并不十分了解<sup>[1]</sup>。本文就超声探伤用换能器的频谱特性和探伤仪接收放大器的诸多性能对缺陷定量的可靠性及对整个超声探伤系统的一致性的影响作了讨论, 介绍了自行研制可对这些性能进行测试的专用仪器, 并对目前国产的和已在部分工厂企业中使用的探头和探伤仪进行了测试, 提出了存在的问题。

### 1 探头工作频率差异对 AVG 曲线缺陷定量的影响

我们知道, AVG 缺陷定量法主要是根据活塞式声源的远场(>3N)声压分布理论来推导的<sup>[2~4]</sup>。根据这种理论, 单探头检测时小平底孔缺陷的反射回波声压  $P_t$  为

$$P_t = P_0 \frac{F_s F_t}{a^2 \lambda^2} = P_0 \frac{F_s F_t f^2}{a^2 c^2}$$

式中  $P_0$ ——发射波起始声压

$F_s$ ——发射晶片的面积(圆形晶片面积为  $\pi D^2/4$ )

$F_t$ ——平底孔缺陷底面积

$a$ ——声源与缺陷(在声轴上)的距离

$\lambda$ ——声波在传播介质中的波长

$c$ ——声波在介质中的传播速度

$f$ ——超声换能器的工作频率

从式中可以看出在发射声源晶片面积固定的情况下, 回波声压幅度  $P_t$  与波长  $\lambda$  的平方成反比, 也就是说与探头工作频率  $f$  的平方成正比。如在同一工件内, 同一深度的缺陷用两个相同直径但频率不同的探头进行探测(>3N), 其反射回波声压比将为  $f_1^2/f_2^2$ , 其中  $f_1$  和  $f_2$  分别为这两个探头的工作频率。以常用的探头为例, 一个  $\phi 20\text{mm}$  标称频率为 2.5 MHz 的探头, 如果其实际工作频率为 1.8 MHz, 在 2.5 MHz 探头的 AVG 曲线图上可查得缺陷的尺寸与实际工作频率为 1.8 MHz 所测得的缺陷尺寸之

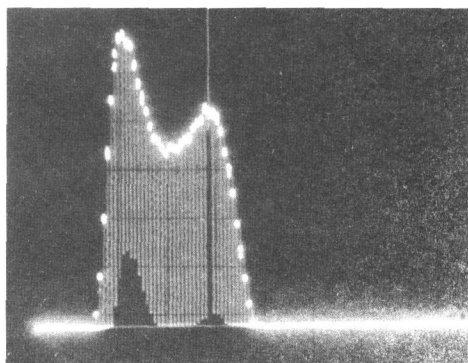


图1 有两个峰值频率的频谱图形

比为 $(2.5/1.8)^2$ (约等于2倍),相差6dB,这样,同样 $\phi 3\text{mm}$ 当量的缺陷就会误判为 $\phi 3/(2.5/1.8) \approx \phi 2.16\text{mm}$ 的当量缺陷。如果在每次探伤前先将探头对大平底反射进行校准,再在AVG曲线上查得缺陷的当量,则其误差与 $f$ 成正比也就是 $2.5/1.8 = 1.39$ ,相当于3dB的误差。这是常见的情况,另外还有不少探头存在两个峰值频率,而均不在标称频率上,这就更难用AVG曲线来定量了(图1)。当然对每个探头而言,要做到其实际工作频率与标称频率完全一致是很困难的,但其误差应控制在一定的范围内,如德国KK公司的探头数据手册中对频率误差的要求为 $\leq \pm 10\%$ <sup>[5]</sup>,在该范围内,其探测的缺陷与AVG曲线上查得的误差就 $\leq 1.1^2 = 1.21$ 倍,约相当于1.6dB。以上的推论是在被测材料的吸收衰减为0的情况下进行的,如低频2.5MHz,对大多数锻钢而言,其对超声波的吸收衰减甚小,可忽略;但对粗晶材料如奥氏体钢,其衰减与频率关系极大,因而一定要考虑在测试频率时的衰减问题。

## 2 探伤仪接收放大器性能差异所致的问题

对超声探伤仪及系统而言,其性能目前只规定了水平线性误差、垂直线性误差、衰减器误差及系统的灵敏度余量等指标,这些指标当然是很重要的也是必要的,但仅有这些指标是不够的,这可从以下方面来说明:①探伤仪频率有宽带的也有窄带的,其带宽的范围、窄带的带宽、中心频率的增益及放大器包括视频放大器总增益等,各仪器之间可能存在着很大的差异。②其灵敏度余量是以什么样的探头来测定的,目前检查仪器系统的灵敏度多以 $\phi 20\text{mm}$ ,2.5MHz的探头对距离200mm的 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔的灵敏度余量来度量,而实际使用的探头有相当大部分不是2.5MHz的。因探头本身频率和灵敏度均各不相同,而且在实际使用中探头是要更换的,这就使得对仪器的灵敏度很难有一个确切的标准。实际上

探伤仪的灵敏度应包括发射电源、接收放大器和探头。在不考虑探头的情况下,探伤仪发射脉冲源性能主要有脉冲电压幅度和脉冲前沿上升时间,前者主要影响发射强度,后者主要考虑有足够的高频分量以适应高频探测的需要,这两个指标均可在示波器上进行测量。对接收放大器性能而言主要有三个方面,即①放大器包括视频放大部分的总增益。②放大器的频率响应特性。③放大器在强脉冲后的阻塞影响区情况。这三个参数对系统的探测性能均有很大影响。另外,有些探伤仪有DAC(Distance Amplitude Compensation)装置,即距离增益补偿装置,在实际使用中有很多用处,特别在对较大工件探测时,可使近区和远区灵敏度比较接近,便于一次扫查。对发射和接收放大器参数的测量,将能使探伤仪有较好的一致性,由于不少工厂企业均有多台探伤仪和探头,如果这些仪器和探头有较大差别,必将影响探测结果的准确性和重复性,只有在超声探伤仪有较好一致性的前提下测定与标称频率相一致的换能器的灵敏度,才能得出超声探伤系统的一致性指标,其所使用的AVG曲线图在实际使用中才具准确性。如德国KK公司探头数据手册中对每个型号的探头AVG图均指定了适用的探伤仪型号<sup>[5]</sup>。

## 3 超声探头的频谱特性及超声探伤仪接收放大器性能的测试方法

为了使超声探伤仪和换能器(探头)各自的性能指标满足实际探伤时一致性和准确性的要求,作者研制了专门用以测试探头的频谱特性及探伤仪接收放大器性能的UT-1型超声分析测试仪,该仪器分为两个部分,第一部分为超声换能器(探头)频谱分析仪,将UT-1超声分析测试仪的X和Y输出端接至示波器相应的X和Y输入端,将探头接上并压于适当的试块上,经过调节就可在示波器屏幕上显示出换能器的频谱特性图形,并可测定其中心频率或峰值频率,整个频谱图形清晰直观,是实时图形,频率数据由移动频标来指示,并可数字直读,使用方便,极易掌握,对选择探头频率特性是否符合探伤要求提供了可靠的测试方法。仪器的第二部分是超声探伤仪脉冲接收放大器测试仪,将UT-1超声分析测试仪的触发端接至探伤仪的发射端,并将测试仪的信号端接至探伤仪的接收端,就可测量探伤仪的接收放大器在不同频率时的总增益或灵敏度余量、频率响应特性、大信号阻塞和深度补偿等性能。该方法测试方便且迅速准确,测试时不用打开探伤仪的外壳,为广大超声探伤工作人员对旧探伤仪的定期

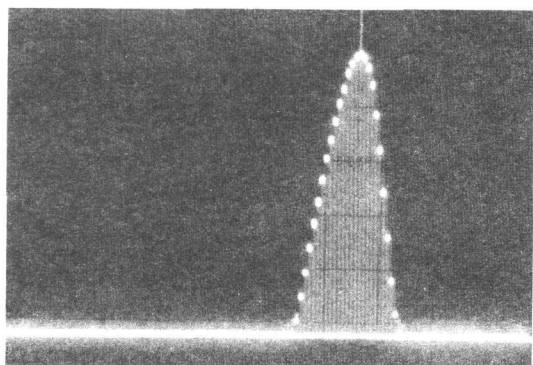


图2 正常探头的频谱图形

检查和选择新探伤仪时提供了可靠的测试手段。该超声分析测试仪可对 1~10MHz 范围内的探头进行测试及测试 0.6~12MHz 范围内探伤仪接收放大器的频率响应特性及其灵敏度余量。图 2 为用 UT-1 超声分析测试仪测试正常探头的频谱图形。

#### 4 结束语

超声探伤用换能器的频率特性及探伤仪接收放大器的各项性能指标对保证超声探伤系统的一致性

和使用 AVG 缺陷定量方法有重要作用。为使广大超声探伤工程技术人员能对所使用的探头和探伤仪性能进行常规检查以及在选择新仪器和探头时进行性能检查,本文介绍了一种使用极为简便的测试仪器,在对几个工厂和研究单位目前所使用的大量探头和探伤仪进行测试后,发现其性能参数有时存在极大的不一致性,其中极为严重的有八个标称频率为 1.25MHz 的探头,而其实际工作频率约为 3.8 MHz,应引起超声探伤工程技术人员的高度注意。

#### 参 考 文 献

- 1 王务同,蒋危平. 超声波探伤换能器的重要性. 无损检测, 1995,17(1):1
- 2 《超声波探伤仪》编写组. 超声波探伤. 北京:电力工业出版社,1980.
- 3 北京市技术交流站编. 超声波探伤原理及其应用. 北京:机械工业出版社,1980.
- 4 Japanese Society for NDI. Nondestructive Testing (Advanced Course). 1985.

收稿日期:1997-10-28



简讯

### 第三届中国国际质量控制技术与测试仪器展览会简况

由机械工业材料性能测试技术中心、理化检验分会、无损检测分会、材料分会举办的第三届中国国际质量控制技术与测试仪器展览会(QC)于1998年11月17~20日在上海国际展览中心举行。本届展览会有来自美国、英国、德国、日本、瑞士、新加坡、比利时、中国包括香港特别行政区和台湾省的100余家专业厂商,同时举办了多场专业技术讲座。无损检测技术方面的展商占半数以上,技术讲座有“工业化与无损检测”“无损检测与无损评定技术的进展”“磁粉检测与渗透检测的新发展”“超声/涡流一体化 NDE C 扫描成像系统”“先进的模态声发射检测系统”“日本富士工业 X 光胶片技术”及“最新无损检测技术和产品”等,专业人员之间开展了技术交流和探讨。

从展览会来看,除了 X 射线实时成像图象处理检测系统替代 X 射线照相法外,自动化检测方面的仪器设备较少,还体现不了中国无损检测技术的发展水平。国外代理商较多,云集了很多国外的仪器设备(包括五大常规检测仪器器材、自动化设备,以及

内窥镜、显微镜、硬度计、声发射设备等)。有些仪器设备还是初次在国内与专业人员见面,但也不是国外当今现代化技术程度很高的设备。近几年来,我国的无损检测技术水平有了很大发展,基础理论研究方面有很大进展,但仪器设备与国外同类型仪器设备相比还有一定差距,我们必须取长补短,从仪器设备的技术、外形和检测的适用性方面有所突破。

在展览会期间,除了技术交流和贸易外,还有很多技术合作和引进项目,促进了技术的发展。第三届 QC 展览会与第六届中国国际工业装备展览会同时举办,从整个展览会来看,参观人数超过 2 万,其中来自海外的国家和地区有美国、加拿大、德国、澳大利亚、日本、韩国、英国、阿尔及利亚、马来西亚、新西兰、新加坡和意大利等。无损检测分会展台上赠送的学会会刊《无损检测》和简讯等技术资料近万册,可见参观无损检测展台人数之多。

我们相信,通过这次展览会定能推动我们无损检测事业更进一步发展。

(徐永昌)