

超声探伤在工业中有着广泛的应用，是检测固体中缺陷的主要手段。通过多年来的发展，超声探伤技术已趋成熟，这种技术是建立在线性声波传播特性基础上的。而固体声非线性特性则还未被充分引用，可能还要经过一段时间的研究才能成熟起来。但外刊介绍的一系列的实验结果足以证明，固体声非线性特性有可能成为超声探伤领域的一个新方向，作者拟将国外此类研究的有关情况作一简单介绍。

据外刊介绍，在带有缺陷的固体媒质中存在着异常强烈的声非线性，一些实验结果指出，这类声非线性效应主要是：1) 低频振动激励下，高频弹性纵波的幅度被调制；2) 高次谐波产生；3) 不同频率的两个波的组合散射。同时实验也证明带裂隙缺陷媒质中非线性效应与裂隙中填充物的情况有关，例如湖冰裂隙中液体填充使非线性响应幅度减小。

为了说明以上特性，这里介绍一个实验，实验装置如图1。图中使用两根尺寸及材质相同的柱形棒，棒长  $L = 91\text{cm}$ ，直径  $D = 10\text{mm}$ 。在其中一根棒的中间作一径向割口，割口深为  $3.8\text{mm}$ ，宽为  $0.3\text{mm}$ ，在割口内塞入3块钢片，每块厚度为  $0.1\text{mm}$ （见图1(a)）。另一根则是没有设置缺陷的参考棒。棒自由放置于由泡沫橡胶组成的弹性基础之上，要求弹性基础的谐振频率远低于棒的弯曲振动最低本征频率，这样基础将对棒的振动信号没有影响。

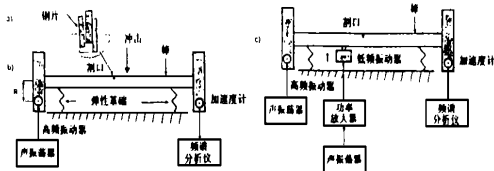


图1 实验装置示意图

在棒的一端离棒轴距离  $R = 30\text{mm}$  处，安装一个高频振动器，确保高频扭转波的激励。在棒的另一端安装一个加速度计，接收振动信号，并由一个频谱分析仪进行分析，在此实验中，扭转波加速度约为  $0.1\text{m/s}^2$ 。

在棒的中部激励棒作低频弯曲振动，激励方式有两种：1) 冲击激励，用橡皮锤子敲击棒的中部（见图1(b)）。2) 在棒的中心附近垂直于棒表面，安装低频振动器，振动时棒弯曲振动的加速度约为  $1\text{m/s}^2$ （见图1(c)）。每种激励方式有其自身的优缺点，冲击激励的优点是棒与激励源没有非线性接触，缺点是在整个实验进行过程中，冲击力不能维持恒定。第二种激励方式由于低频振荡器可以通过控制功率放大器的输出电压，使整个测试期间保持对棒的作用力不变，缺点是因固定振荡器而存在接触非线性现象，这种现象要完全消除是困难的。图2图4是实验结果：

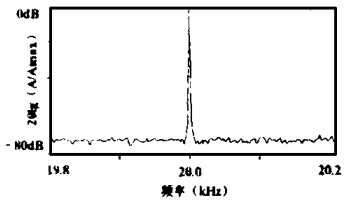


图2 两种棒的振动响应频谱 (SVR)

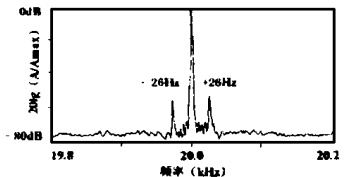


图3 有割口并填钢片的棒中的SVR (冲击激励)

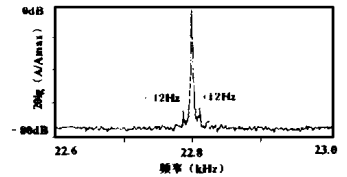


图4 有割口但没有填钢片的棒中的SVR (低频振荡激励)

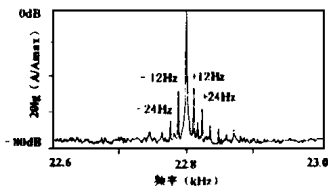


图5 有割口填钢片的棒中的 SVR  
(低频振荡器激励)

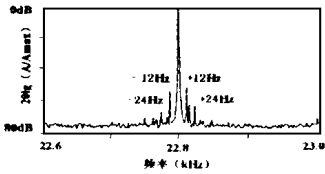


图6 割口填片中润滑油的棒中的 SVR  
(低频振荡器激励)

图2中是没有割口及有割口但没填钢片的棒的振动响应频谱 (SVR), 高频扭转频率为 20kHz, 低频信号则由冲击产生。图中 Y 轴表示用对数标度的振动加速度幅度,  $A_{max}$  是扭转振动频率点上的最大加速度。由图可见, 没有见到调制, 表明系统是线性的。图3中给出的是有割口并填塞坚硬钢片的棒中的

SVR。激励条件同图2, 可见有频率为  $\omega$ ,  $\omega \pm \Omega$  ( $\omega = 20\text{kHz}$  为高频扭转波频率,  $\Omega$  是弯曲振动频率) 的信号已被接收到, 显然高频扭转波振动与棒的低频弯曲振动间发生了调制, 系统已成为非线性系统, 而这种现象与填入割口钢片有关。图4是有割口但没有填钢片, 用低频振荡器激励, 可见振动频谱中存在频率为  $\omega$ ,  $\omega \pm \Omega$  的信号, 用冲击激励时没有出现这种现象, 所以图4的结果证明了安装低频振荡器时可能存在接触点非线性。图5为割口内填塞钢片但不加润滑油时棒中的 SVR, 图6则是加上润滑油后的 SVR, 对照图5及图6, 可以看到当割口中加上润滑油时调制幅度将减少 5dB ~ 6dB。

以上实验给了我们一个启示, 某些振动非线性现象与媒质中裂隙缺陷特性有关, 因而这种现象应用于无损检测的可能性是存在的, 当然要在实际应用还有许多工作要做的。

(丁玉薇编译自 J. A. S. A Sept 1999; 106 (3) pt 1: 129.)

(上接43页)

性进展, 尚有许多问题有待解决, 距离全面临床应用尚有一定距离。但是我们有理由相信, 随着对该项技术的进一步研究, 它的潜在应用价值会逐渐得到实现。其应用范围也会进一步扩展, 为人类疾病治疗带来福音。

参考文献:

[1] Hill, C. R. [J]. *Ultrasound Med. Biol.*, 1994; 20: 271 ~ 277.  
 [2] Frizzell, L. A. [J]. *IEEE Trans Ultrason. Ferroelect. Freq. Control.* 1998; 35: 578 ~ 581.  
 [3] Lizzi, F. L., Ostromogilsky, M. [J]. *Ultrasound Med. Biol.*, 1987; 13: 607 ~ 618.  
 [4] Hill, C. R., Rivens, I., Vaughan, M. G. et al. [J]. *Ultrasound Med. Biol.*, 1994; 20: 259 ~ 269.  
 [5] Robison, T. C., Lele, P. P. [J]. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1972; 51: 1333 ~ 1351.  
 [6] Chen, L., Rivens, I., ter Haar, G. R. et al. [J]. *Ultrasound Med. Biol.*, 1993; 19: 67 ~ 74.

[7] Yang R, Reilly C R, Rescorla FJ et al. [J]. *Pediatr Surg.* 1992; 27: 2, 246 ~ 250; discussion 250 ~ 251.  
 [8] Watkin, N. A., ter Haar, G. R., Morris, S. B. et al. [J]. *Br J. Urol* 1995; 75 (suppl), 1 ~ 8.  
 [9] ter Haar, G. R. [J]. *Ultrasound Med. Biol.*, 1995; 21: 1089 ~ 1100.  
 [10] ter Haar, G. R., Rivens, I., Chen, L. et al. [J]. *Phys. Med. Biol.*, 1991; 36: 495 ~ 501.  
 [11] Fry, W. J., Fry, F. J. [J]. *IRE Trans. Med. Electron.*, 1960; ME- 7: 166 ~ 181.  
 [12] Coleman, D. J., Lizzi, F. L., Driller, J. et al. [J]. *Ophthalmology.*, 1985; 92: 347 ~ 353.  
 [13] ab Ithel Davies I, Gavrilov, L. R., Tsiurlnikov, E. M. Pain, 1996; 67: 17 ~ 27.  
 [14] Moussatov AG, Baker AC, Duck FA. [J]. *Ultrasonics.* Jul 1998; 36 [8]. 893 ~ 900.  
 [15] Hynynen, K., Jolesz, F. [J]. *Ultrasound Med Biol.* Feb 1998; 24: 275 ~ 283.