



检测超声换能器的 校准与性能测量

许建平 李明轩

(中国科学院声学研究所)

1989年3月20日收到

检测超声换能器的性能是设计制造者和使用者都十分关心的问题。本文就超声换能器的几个主要整体性能——灵敏度、时间响应(传输函数)、空间响应(指向性和声场分布)以及等效电阻抗的测量与校准技术做了简要的综述,以灵敏度和时间响应为重点,介绍了各种校准和测量方法的原理及适用范围,并对其特点和局限性做了分析。

在本文的前一部分(见应用声学, 8-6 (1989), 35—38)中,已介绍了前言、一、灵敏度和时间响应测量 1.互易技术, 2.激光技术。本文作为文章的后一部分继续介绍其余内容。

3. 声发射技术

这里谈的声发射技术是指模拟声发射源,产生可测量或可计算的应力和位移,作为接收换能器已知的声激励;通过与其电输出作比较,得出换能器接收灵敏度和时间响应。图7为原理图。

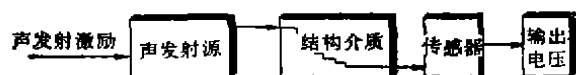


图7 用声发射技术校准接收换能器原理图

在校准中,介质和声发射源的选取十分重要。对于介质要考虑材料、几何形状和尺寸,材料尽量选各向同性、均匀和衰减小的弹性体。通常采用钢、铝和玻璃。几何形状和尺寸决定了传输函数的形式是否简单、频域是否宽。一般来说形状应尽量简单,尺寸要足够大。声发射源可分为两类,一类为噪声源,另一类为脉冲源。对源的要求是易产生、重复性好,作用范围可控制、性能可测量。具体产生的方法比较多,如碰撞、断裂、摩擦、气哨、爆炸等。由于对频率

应用声学

的要求,产生固体声发射源主要采用前两种方法。历史上已采用过的典型噪声源有:氦气喷射冲击源 (McBride, 1976)^[16]、金刚砂晶粒破裂源 (Pardee, 1978)^[17]、应力腐蚀断裂源 (Birchon 等 1973)^[18]。典型的脉冲类声发射源有:火花源 (Bell, 1973)^[19]、玻璃毛细管断裂源 (Breckenridge 等, 1975)^[20]、折断铅笔芯源 (Hsu, 1977)^[21]、落钢球源 (Hatano, 1975)^[22]、以及激光脉冲源 (Egle 等, 1976)^[23]等。

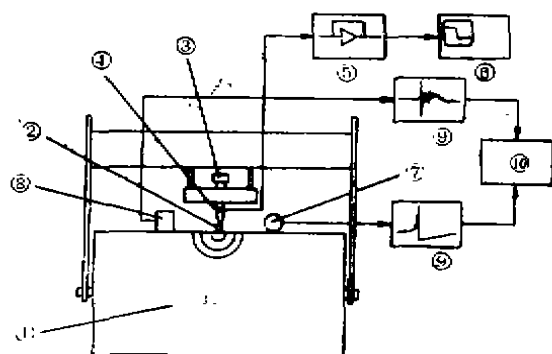


图8 阶跃力源校准接收换能器方框图

图8是阶跃力源校准声发射换能器的原理图。图中采用毛细玻璃管的断裂作为阶跃声源。阶跃时间在 $0.1\mu s$ 左右,阶跃幅度可通过压电片④测出。在待测换能器处的位移可由弹

性理论计算也可由一个实际的位移换能器测量出来,这一已知的量作为待校准换能器的输入,再通过采样记录换能器的输出就可获得其接收灵敏度。

图中①: 钢块、②: 玻璃毛细管($\phi 2\text{mm}$)、③: 可加载螺杆、④: PZT压电片、⑤: 电荷放大器、⑥: 存储示波器、⑦: 标准换能器、⑧:

待测换能器、⑨: 数字式记录仪、⑩: 计算机。

图9为换能器所在位置钢块表面对阶跃脉冲响应的计算曲线和实测曲线,两者一致性较好。图10为校准换能器相对于静电容标准换能器幅度响应。后者的特性是已知的,因此接收换能器的响应就完全确定了。

声发射技术不仅可用于校准接收表面波的

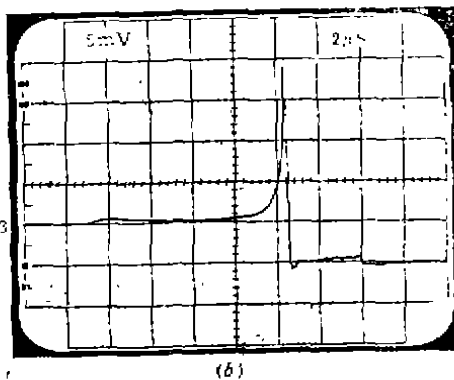
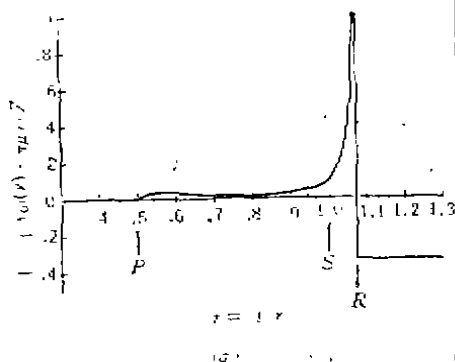


图9 钢块表面振动位移曲线, a) 理论值 b) 实测值

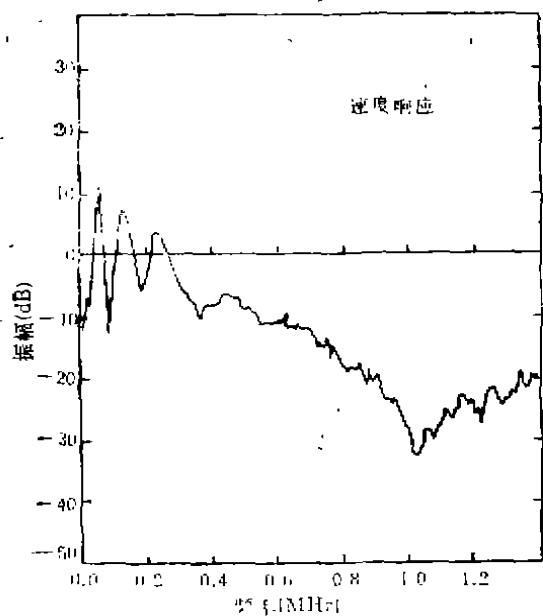


图10 换能器的速度响应曲线

声发射换能器,也可校准一般体纵波超声换能器的接收灵敏度。我们在这方面作了一些工作得到了比较满意的结果。声发射技术是一种绝对校准技术,该技术相对简单,易于实施。而

且理论计算和实际测量可以相互检验,给出绝对误差,我们认为这是一种有潜力的校准技术。

三、超声换能器空间响应的测量^[24]

空间响应是指换能器的声场分布和指向性,对于超声换能器声场和指向性的测量方法主要有点换能器接收测量法、小球反射法、施利伦法(暗场法)和光弹法。

点换能器接收测量法和小球反射法是两种经典的测量声场的方法,两种方法的实验装置

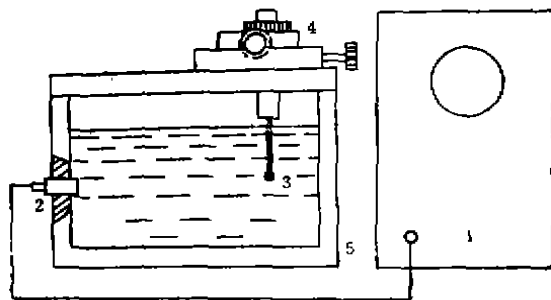


图11 小球反射法测量超声场的示意图

1. 探测器; 2. 探头; 3. 小球; 4. 移动架; 5. 水槽

基本相同如图 11, 所不同的是前者点换能器, 后者换成了反射小球。

上述两种测量方法本质的区别在于点换能器如果是无指向性宽带的, 那么该方法得到的是真实的声场分布, 而小球反射法实际上是小球所处位置的声场经小球反射后被测的声压分布, 它只代表整个声场的势趋。

施利伦法和光弹法是两种显示声场分布的光学方法。这些光学方法的优点是可以显示出直观的图象; 接收设备不必置入声场, 因而对声

场没有影响。局限性是仅对透明介质能显示出与光通路相垂直传播的声场, 对不透明介质, 只能观察表面波。而且实验装置都比较复杂。

图 12 是施利伦系统的装置图。施利伦法是利用超声场引起光衍射效应, 把通过扰动区的光信号转换成空间频率分布, 然后经过适当的空间滤波, 把反映扰动信息的有用部分滤取出来, 使之成像, 达到直接观察的目的。施利伦法是用来观察液体中的声场, 图 13 是用施利伦法测得的一换能器在水中的声场图。

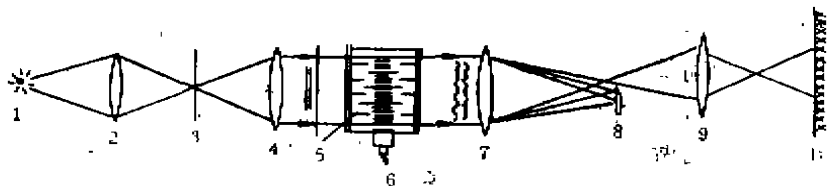


图 12 施利伦系统装置示意图

1.光源; 2.透镜; 3.小孔; 4.透镜; 5.水槽; 6.换能器; 7.透镜; 8.刀口; 9.透镜; 10.屏。

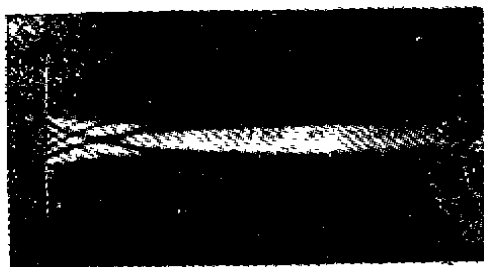


图 13 用施利伦法测得的一换能器在水中的声场照片



图 15 用光弹法测得的一换能器在玻璃中的声场图

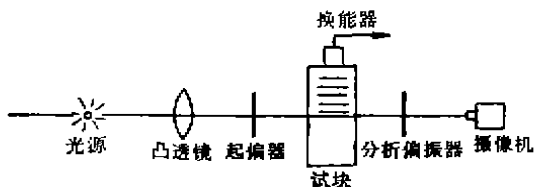


图 14 光弹法显示声场装置示意图

图 14 是光弹法显示声场原理图。光弹法利用的是声波使弹性体承受应力后的光弹效应、即双折射现象, 达到观察透明固体中声场的目的。用它不仅可以观察到纵波也可观察到横波。图 15 是在我所实验室里用光弹法测得的一换能器在玻璃中的声场图。

四、换能器等效电阻抗的测量

换能器作为一个电学器件接入电子仪器, 它的等效电阻抗特性是换能器和仪器在设计和使用中都需要了解的。压电换能器的输入阻抗由静态阻抗和动态阻抗两个部分并联组成, 如图 16。静态阻抗和动态阻抗都是频率的函数, 在通常的情况下是测量共振频率附近它们的等效集中参量, 从而得到压电换能器总的输入阻抗。主要的测量有传输线法和导纳电桥法两种。传输线法的优点是测量简便迅速, 缺点是没有相位数据, 不能用于弱共振的测量。导纳电桥法

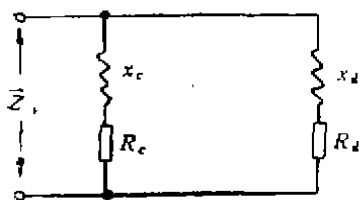


图 15 压电换能器等效电路

测量的优点是测量精度高,并能克服传输线法的缺点。但用这种方法,测量速度慢,测量手续繁杂,在工业部门很少采用。

以上我们对超声压电换能器整体特性的测量技术做了原理性介绍和简单的评价。我们感到对超声压电换能器整体特性的测量涉及的内容和领域很广,这里不可能做出全面详细的介绍,我们的目的仅仅是为读者在实际应用中提供一个参考。

参 考 文 献

- [1] 李远等,压电与铁电材料的测量,科学出版社,1984。
- [2] Cartensen E. L., *J. Acoust. Soc. Am.*, 19(1947), 961.
- [3] Sabin G. A., *J. Acoust. Soc. Am.*, 28(1956), 705.
- [4] Koppelman J., Brende K., and Wolf J., *Acoustica*, 25(1971), 73.
- [5] Garnier J. L., and Gazanbes C., World Conf. NDT, 8th 1976, Paper 3J9.
- [6] White R. M., *J. Acoust. Soc. Am.*, 29(1957), 837.
- [7] Zhao Qichang, Chen Zhaobuz, Third Western/Paci-

fic Regional Acoustics Conference, Nov., 1988.

- [8] Hatano H., and Mori E., *J. Acoust. Soc. Am.*, 59(1976), 344.
- [9] Christofferson B. K., and Licht T. R., *Ultrasonics Int. Conf. Proc.*, 1977, 161.
- [10] Christofferson B. K., and Licht T. R., *Proc. Int. Congr. Acoust.* 9th, 1977, Paper Q24.
- [11] Hsu Eric V. K., and Egle Davis M., *J. Acoust. Soc. Am.*, 67-2(1980), 666.
- [12] Mezrich R., Etzold K. F., and Vilromerson D., *CRA Rev.*, 35(1974), 483.
- [13] Mezrich R., Vilromerson D., and Etzold K. F., *Appl. Opt.*, 35(1976), 483.
- [14] Palmer C. H., Claus R. O., and Flick S. E., *Appl. Opt.*, 16(1977), 1849.
- [15] Speake J. H. In "Conference on the Evaluation and Calibration of Ultrasonic Transducers", IPC Sci Technol. Press, Guildford, England, 106.
- [16] McBride S. L., and Hutchison T. S., *Canadian J. Phys.*, 56(1978), 504.
- [17] Pardee W. J., and Graham L. J., *J. Acoust. Soc. Am.*, 63(1978), 504.
- [18] Brichon D., Dures R., and Taylor J., Second International Conference on Pressure Vessel Technique, 1973, 2(49), 669.
- [19] Bell R. L., Technical Report, DE-73-3, Dunegan/Endevco, San Juan Capistrano, CA, 1973.
- [20] Breckenridge F. R., Tschiegg C. F., and Greenspan M., *J. Acoust. Soc. Am.*, 57-3(1975), 626.
- [21] Hsu N. N., Simmones J. A., and Hardy S. C., *Materials Evaluation*, 35(1975), 100.
- [22] Hatano H., *J. Acoust. Soc. Am.*, 57(1975), 639.
- [23] Egle D. M., and Brown A. E., *J. Testing Evaluation*, 4-3(1976), 196.
- [24] 北京市技术交流站编,超声波探伤原理及其应用,机械工业出版社,1980,105.

(上接第45页)

种。作者认为,一是声学知识还没有象光学知识那样为大多数技术工作者所熟悉,这种状况使得使用者在解释声学像及理解声学像中的反差机理时发生困难。另外,声学显微技术是一门年轻的学科,知道它的科技工作者还不很多。作者相信,随着商用声学显微镜的不断发展,越来越多的科技工作者将有机会应用声学显微技术,反过来又会促进该技术的发展。

参 考 文 献

- [1] Quate C. F., *IEEE Trans. on Sonic and Ultrasonics*, SU-32-2(1985), 132—135.
- [2] Rugar D., *J. Appl. Phys.*, to be Published.
- [3] Foster J. S. and Rugar D., *IEEE Trans. on Sonic and Ultrasonics*, SU-32-2(1985), 139—151.

- [4] Hillebrand J. A., *IEEE Trans. on Sonic and Ultrasonics*, SU-32-2(1985), 332—340.
- [5] Weglein R. D., *IEEE Trans. on Sonic and Ultrasonics*, SU-30-1(1983), 40—42.
- [6] Attol J., Scanned Image Microscopy, L. A. Ash, Ed., New York, Academic, 1980, 97—118.
- [7] Müller A. J., Acoustical Imaging, E. A. Ash and C. R. Hill, Eds., New York, Plenum, 1982, Vol. 12, 67—78.
- [8] Müller A. J., *Inst. Phys. Conf. Ser.*, No.67, Sec. 8, 1983, 393—398.
- [9] Müller A. J., *IEEE Trans. on Sonic and Ultrasonics*, SU-32-2(1985), 320—324.
- [10] Hoppe M. and Berciter-Hahn J., *IEEE Trans. on Sonic and Ultrasonics*, SU-32-2(1985), 289—301.
- [11] Weaver J. M. R., Somekh M. B., Briggs G. A. D., Peck S. D., Hett C., *IEEE Trans. on Sonic and Ultrasonics*, SU-32-2(1985), 302—312.
- [12] Yamanaka K., Enomoto Y., Tsuya Y., *IEEE Trans. on Sonic and Ultrasonics*, SU-32-2(1985), 313—319.