

压电复合材料宽带横波换能器的实验研究*

耿学仓 杨玉瑞 李明轩

(中科院声学所 北京 100080)

1993年11月3日收到

摘要 本文用实验方法研究了2-2压电复合材料的厚度切变特性,定性地给出了2-2压电复合材料的性能与PZT相体积分比,以及与共振频率的关系,并用这种材料作为换能元件,制作出高灵敏度窄脉冲横波换能器。

关键词 压电复合材料,2-2型压电复合材料,横波换能器

Experimental study of the transverse wave composite transducers

Geng Xuecang, Yang Yurui and Li Mingxuan

(Institute of Acoustics, Academia Sinica, Beijing 100080)

Abstract The thickness shear characteristics of the 2-2 piezo-composite materials are investigated experimentally. Presented qualitatively are the dependences of the features of the 2-2 composite on the volume fraction of pzt in the composite as well as on the resonant frequencies. Transverse wave transducers with high sensitivity and short pulse have been manufactured from the 2-2 composite materials.

Key words Piezo-composite material, 2-2 Piezo-composite, Transverse wave transducer

1 引言

在无损检测、岩石声速测量、特别是衰减及频谱测量中,高灵敏度窄脉冲横波换能器有着广泛的用途。

通常用压电PZT晶片的厚度切变特性来产生横波^[1],PZT材料的特性阻抗较高,不易与岩石、有机玻璃等低阻抗介质达到阻抗匹配,致使换能器的灵敏度较低,脉冲较长。另一方面,要实现窄脉冲换能器,需要加高阻抗的背衬吸声块来减小余振。用一般的环氧树脂加钨粉的混合物浇注是很难实现阻抗匹配的,既使用其它办法做成高阻抗背衬,由于换能器前表面与负载阻抗不匹配,声能量大部分进入背衬,使得

换能器的灵敏度很低。

压电PZT晶片的厚度切变振动在固体介质中不仅产生横波,而且还产生一个微弱的纵波,由于纵波速度快于横波速度,纵波脉冲在横波脉冲的前面,会干扰横波的首波。特别是传播介质的纵向尺寸较小,或者是介质的损耗较大、以及低频窄带换能器,干扰尤为突出。

压电复合材料^[2],由于具有较高的厚度机电耦合系数,较小的特性阻抗,较小的机械品质因数 Q_M ,是宽带高灵敏度换能器的理想材料。压电复合材料,根据其两相材料连通方式的不同,可分为1-3、0-3、3-3、2-2等十种方式。

* 国家自然科学基金资助项目

前三种连通方式已被广泛地研究和应用, 2-2 压电复合材料因其连通方式简单而被广泛用作理论分析的基础, 至今未见其应用的报道。

本文用实验方法对 2-2 压电复合材料的厚度切变特性进行了研究, 并用这种材料制作出高灵敏度窄脉冲横波换能器。

2 2-2 压电复合材料的厚度切变特性

研究表明, 压电复合材料的性能不仅与组成复合材料的单相材料的性能有关, 而且与复合材料中 PZT 相的体积百分比有关。我们用 PZT 材料作为骨架, 用环氧树脂作为填充物, 制作出厚度切变振动的 2-2 压电复合材料晶片。

对横波换能器应用来说, 主要关心材料的厚度切变机电耦合系数 k_{15} , 机械品质因数 Q_M , 以及材料的特性阻抗。用 HP4192A 阻抗分析仪测量 2-2 压电复合材料的阻抗圆图, 所得结果列于表 1 中。

表 1 2-2 压电复合材料的厚度切变特性

	PZT 相 体积百分 比 ν	共振频率 f_r (kHz)	k_{15}	Q_M	声速 c_s ($\times 10^3$ m/s)	特性阻抗 ρc_s (Mrayl)
1#	0.35	1215	0.68	6	2.10	6.93
2#	0.43	1160	0.70	9	2.15	8.39
3#	0.49	1135	0.72	7.4	2.17	9.33
4#	0.50	648	0.69	17	2.14	9.25
5#	0.50	350	0.52	18	1.98	8.56
6#	0.50	147	0.49	20	1.64	7.09

从表 1 不难得出以下初步结论:

1. 当 2-2 复合材料中 PZT 相的体积百分比从 0.35 增加到 0.49 时, 厚度切变机电耦合系数 k_{15} 也从 0.68 增加到 0.72, 即在所研究的 PZT 相体积百分比范围内, 共振频率相同时, 随着 PZT 相体积百分比的升高, k_{15} 也有微略增加。

2. 当 PZT 相体积百分比相同时, 振动频率不同, k_{15} 也不一样。在所研究的频率范围内, 频率越高, k_{15} 越大。

3. 在所研究的频率范围内, 机械品质因数 Q_M 与频率有关, 频率越高, Q_M 越小, 这是因

为环氧树脂的衰减随着频率的增高而增加的缘故。

综上所述, 2-2 压电复合材料的厚度切变特性不仅与 PZT 相的体积百分比有关, 而且还与共振频率有关, 在制作 2-2 压电复合材料时, 要根据负载介质特性阻抗的不同, 选择不同体积百分比的压电复合材料, 使横波换能器的性能达到最优。

从表 1 还可以看出, 2-2 压电复合材料具有较高的厚度切变机电耦合系数, 较小的特性阻抗以及较低的机械品质因子, 是岩石、非金属材料等介质中应用的高灵敏度窄脉冲换能器的较为理想的材料。

3 2-2 压电复合材料横波换能器的研制

我们采用 2-2 压电复合材料晶片作为换能元件, 前表面用环氧树脂和金刚砂粉末的混合物作为阻抗匹配层, 后表面用环氧树脂和钨粉的混合物作为背衬吸声块, 制作出的换能器的结构示意图如图 1 所示。

考虑到在岩石特性测量中是用一对换能器, 一个用作发射, 另一个用作接收, 测量介质夹在换能器中间, 我们选用图 2 所示系统来测

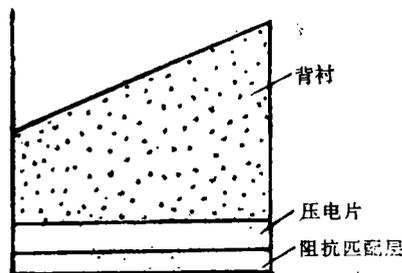


图 1 换能器结构示意图

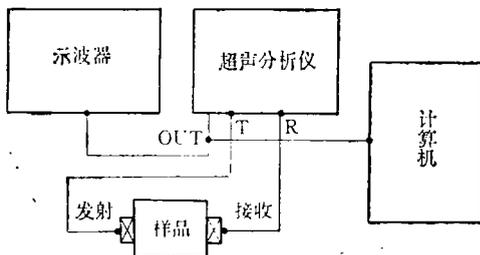


图 2 测量系统示意图

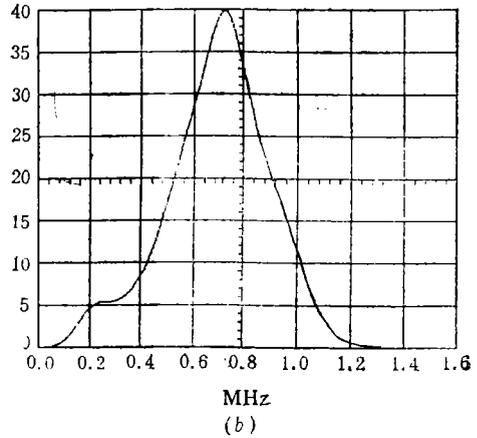
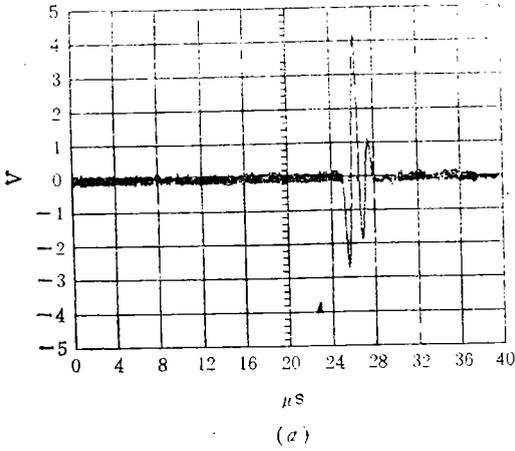


图3 介质为聚苯乙烯时中心频率为714kHz的一对横波换能器对穿的脉冲及其频谱
(a) 换能器的脉冲波形 (b) 换能器的频谱图

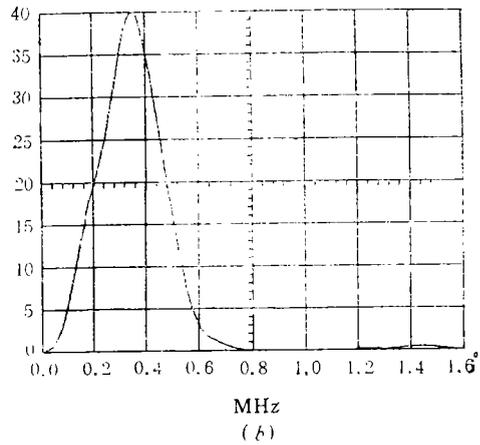
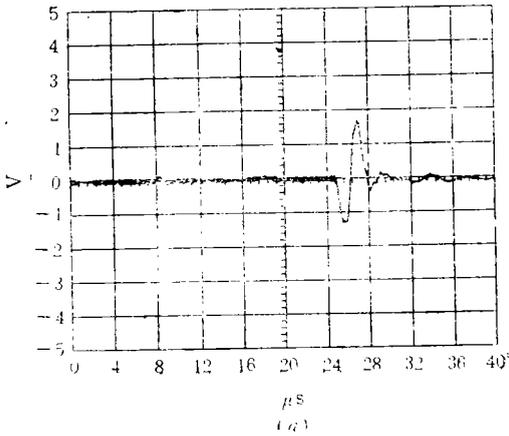


图4 介质为聚苯乙烯时中心频率为342kHz的一对横波换能器对穿的脉冲及其频谱
(a) 换能器的脉冲波形 (b) 换能器的频谱图

量换能器的脉冲特性和频谱特性。其中被测介质为聚苯乙烯塑料，尺寸为 $\phi 50\text{mm} \times 40\text{mm}$ 。

超声波由一个发射换能器发射，通过传播介质、再被接收换能器接收，得到的接收脉冲波形如图 3(a)、4(a)、5(a) 所示，其频谱如图 3(b)、4(b)、5(b)。

图 3(a) 是中心频率为 714kHz 的一对换能器的脉冲波形。从图中可以看出，在 $8\mu\text{s}$ 附近有一微小的纵波脉冲，其位相与横波相反，幅度较小。由于图中采样噪声较大，纵波部分与采样噪声差不多，图中已难分辨出，但从示波器上可以看出其存在。横波部分灵敏度较高，峰-

峰值电压 $V_{PP} = 6.9\text{V}$ ，首波幅度为 2.7V。图 3(b) 为频谱图，相对带宽为 56.4%。

图 4(a) 是中心频率为 342kHz 的一对换能器的脉冲波形。与图 3(a) 相比， $8\mu\text{s}$ 处的纵波脉冲较大，而横波脉冲较小。其横波脉冲的电压 $V_{PP} = 3.0\text{V}$ ，首波幅度为 1.4V。图 4(b) 为横波脉冲的频谱图，相对带宽为 85.7%

图 5(a) 是中心频率为 171kHz 的一对换能器的脉冲波形。与图 3(a)、4(a) 相比， $8\mu\text{s}$ 处的纵波脉冲更大一些，其横波脉冲最小， V_{PP} 仅为 1.5V，首波幅度为 0.75V。由于压电片较厚，机械 Q 值较高，已能看出表面换能对波形的影

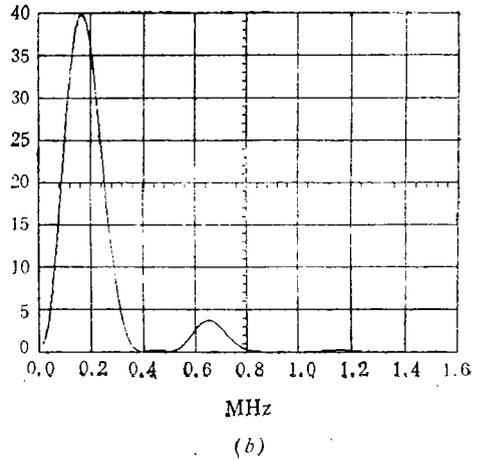
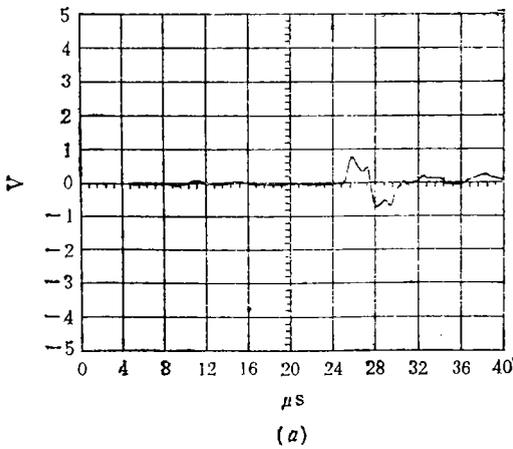


图5 介质为聚苯乙烯时中心频率为171kHz的一对换能器对穿的脉冲及其频谱

(a) 换能器的脉冲波形 (b) 换能器的频谱图

响,波形变成非正弦波。

从以上三个图形可以得到以下结论:

1. 厚度切变振动在介质中激励横波的同时,也产生一个微弱的纵波,纵波的位相与横波的位相正好相反,且随着频率的降低,纵波分量增大,换能器的信噪比变小。

2. 用2-2型压电复合材料制作的横波换能器,中心频率越高,其灵敏度也越高。这与表1中所列频率越低, k_{15} 越小相对应。

3. 三对换能器是在同一工艺条件下完成的,其相对带宽随着频率的减小而增加,说明压电片的特性阻抗随频率的减小而减小。这样,特性阻抗小的,与背衬匹配得好,相对带宽大。这也与表1所列数据相对应。

4 结论

本文初步探索了2-2压电复合材料的厚度

切变特性,并用这种材料制作出性能优良的横波换能器,证实了2-2压电复合材料用于横波换能器的有效性。

本工作只是初步从实验上探索了2-2压电复合材料的厚度切变特性,有关这方面的理论工作、以及如何利用压电复合材料中PZT相的分布来减弱纵波干扰,提高换能器的信噪比,将留待今后讨论。

致谢 声学所朱厚卿教授帮助作者对压电片的性能进行了测试;党长久同志帮助采集波形。谨表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] 栾桂冬. 应用声学, 1989, 8(1): 21—25.
- [2] Smith W A, 1989 *Ultrasonics Symposium*, 755—766

(上接第43页)

参 考 文 献

- [1] Gavreau, V *Compt. Rend.*, 1948, 226, 2053—2054.
- [2] Pumphrey, R J *Nature*, 1950, 166, 571.
- [3] Martin I. Lenhart, Skellet, R. Wang, P. Clarke, L. M. *Science*, 1991, 253, 82—84.
- [4] Haeff, AV Knox, C *Science*, 1963, 139, 590—592
- [5] Deatherage, B. H. Jeffress, L. A. Blodgett, H. C. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1954, 26, 582
- [6] Bellucci, R. J. Schneicler, D. E. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.*, 1962, 71, 719—726
- [7] Cazals Y. Aran, J. M. J.P. Erre, A. Guilhaume *Science*, 1980, 210, 83