

不同背衬 PVDF 压电薄膜 超声换能器的实验研究

马乐山 姚绍玉

(中国科学院武汉物理研究所)

利用 PVDF(聚偏氟乙烯)压电薄膜研制窄脉冲宽带换能器是一条很有希望的途径。为提高 PVDF压电薄膜超声换能器的灵敏度,本实验对黄铜背衬结构和空气背衬结构的两种 PVDF 压电薄膜超声换能器作了一些基本测试,比较了它们的相对发射灵敏度和相对接收灵敏度。结果表明,黄铜背衬结构可使薄膜换能器的发射灵敏度和接收灵敏度得到提高。本工作为国产 PVDF压电薄膜超声换能器在无损伤检测和医用超声某些方面的应用提供了数据。

制作方法和使用数据。

一、引言

近年来, PVDF压电薄膜换能器在电声、超声、水声等领域受到广泛重视,并逐步得到应用。

PVDF压电薄膜是一种新型压电材料。它的高压电电压常数(g 常数)、高柔顺系数和低声阻抗率,使它成为研制窄脉冲、宽带换能器的一种很有前途的压电材料。但由于它的压电应变常数(d 常数)、机电耦合系数均较 PZT 压电陶瓷材料为低,因此,制成的换能器灵敏度大都低于 PZT 压电陶瓷换能器。初步实验^[1]指出,相近孔径的 PVDF 压电薄膜超声换能器比 PZT 压电陶瓷超声换能器的接收灵敏度约低 30dB。

为提高 PVDF 压电薄膜超声换能器的灵敏度,本实验采用硬背衬结构制作了实验 PVDF 压电薄膜超声换能器,并进行了一些测试。与空气背衬的相同孔径的 PVDF 压电薄膜换能器作了初步比较,结果表明,采用硬背衬的 PVDF 压电薄膜换能器的发射灵敏度和接收灵敏度均有提高。这一结果,为研制实用的 PVDF 压电薄膜换能器提供了新的

二、硬背衬实验 PVDF 压电薄膜超声换能器

实验采用了中国科学院上海有机化学研究所、五机部 53 所以及温州压电元件厂提供的三种 PVDF 压电薄膜。其基本数据列于表 1。

实验换能器采用黄铜背衬。将 $\phi 10\text{mm}$ 的 PVDF 压电薄膜用环氧树脂粘贴在长 17mm、 $\phi 10\text{mm}$ 的黄铜棒的一端,然后装入换能器的有机玻璃外壳中。电极引线采用压接。本实验所用的黄铜背衬的 PVDF 压电薄膜换能器与空气背衬的 PVDF 压电薄膜换能器具有相同的有效孔径——8mm。

表 1 三种国产 PVDF 压电薄膜的
基本数据*

薄膜编号	拉伸方式	电极	薄膜厚度 (μm)	压电电压常数 $g_{31} \times 10^{-3} \text{V} \cdot \text{m}/\text{N}$
No. 1	单轴拉伸	蒸铝电极	30	200
No. 2	单轴拉伸	蒸铝电极	30	>100
No. 3	单轴拉伸	蒸铝电极	20	105

* 表中数据为研制和生产单位提供

三、实验PVDF 压电薄膜超声换能器的特性测试

测试在消声水槽中进行。发射换能器与接收换能器同轴放置，两者相距160mm。激励源采用 JCZ-1 型超声波诊断仪(上海超声波仪器厂)。

1. 实验 PVDF 压电薄膜超声换能器的接收响应

由激励源产生的脉冲信号激励一个 $\phi 12$ mm、2.5MHz 的 PZT 压电陶瓷发射换能器。其辐射声场分别由两组 (黄铜背衬换能器为一组, 用 KP 表示; 空气背衬换能器为另一组, 用 TP 表示) 共 6 种 PVDF 压电薄膜超声换能器接收。接收到的声信号经宽带放大器 (自装, 响应见附图 1) 放大后, 显示在 SBT-5 型同步示波器荧光屏上, 并用照相机拍照记录。接收的声信号幅度 (以 V 为单位表示) 由拍照记录读出。

本实验所取的声信号幅度均为峰——峰

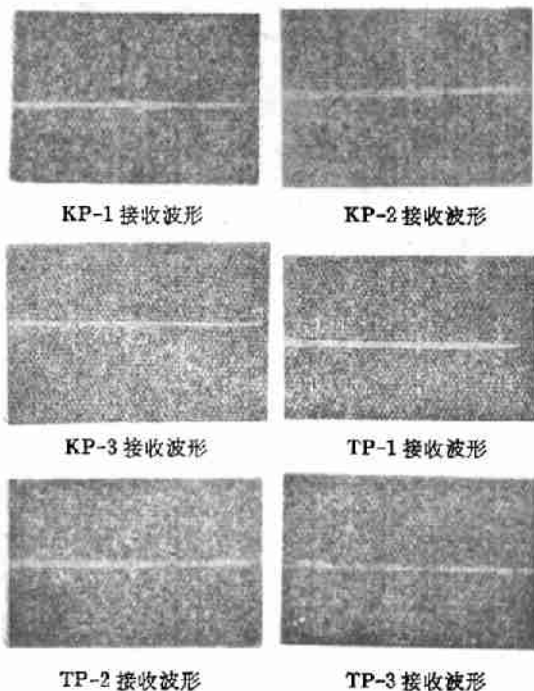


图 1 PVDF 实验换能器的接收波形 (黄铜背衬 PVDF 换能器的信号幅度衰减 10dB)

值。

图 1 给出了两组 6 种 PVDF 实验换能器的接收波形。表 2 列出了此 6 种换能器的接收信号幅度。

表 2 两组 PVDF 换能器的接收信号幅度

第一组	换能器编号	KP-1	KP-2	KP-3
	接收信号幅度 (V)	2.0	1.0	0.4
第二组	换能器编号	TP-1	TP-2	TP-3
	接收信号幅度 (V)	3.0	2.7	2.6

2. 黄铜背衬 PVDF 实验换能器的相对发射灵敏度

由两组 6 种 PVDF 实验换能器作发射, 用 5 mm 孔径的 10 兆赫 PZT 聚焦探头作接收, 记录了 PVDF 实验换能器的发射声信号波形 (图 2)。从图 2 可以看出, 黄铜背衬 PVDF 换能器的发射灵敏度均较空气背衬 PVDF 换能器的发射灵敏度高。以 TP-1 和 KP-1 为例, 前者声信号幅度为 1.1V, 后者为 0.45V。

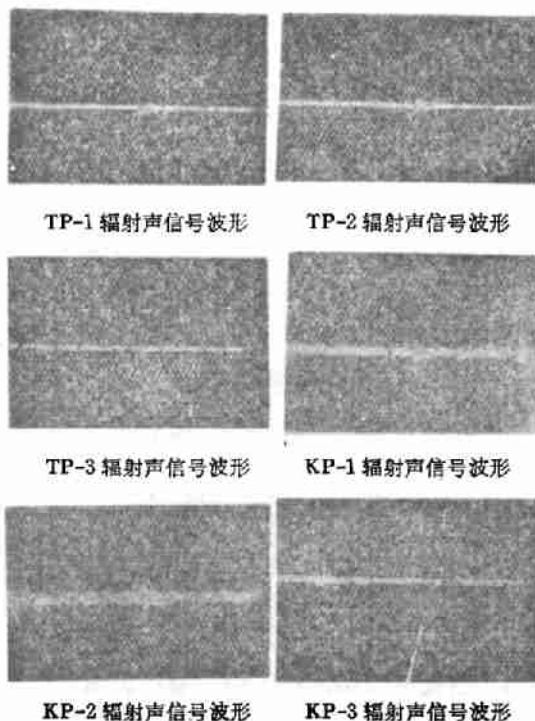


图 2 PVDF 换能器的辐射声信号波形 (黄铜背衬 PVDF 换能器的声信号幅度衰减 10dB)

3. PVDF 超声换能器接收灵敏度的频率响应测量

利用声场测量装置,分别测试了三种黄铜背衬PVDF压电薄膜换能器(TP-1, TP-2, TP-3)和一种空气背衬PVDF压电薄膜换能器(KP-1)的频率响应,并与美制微型探头的响应作了比较。

测试以下述方式进行:用1.25MHz、2.5MHz、5MHz和10MHz的PZT压电陶瓷换能器作发射,用美制微型探头、黄铜背衬PVDF压电薄膜换能器和空气背衬PVDF压电薄膜换能器分别作接收,记录了它们各自的相对接收灵敏度对频率的响应。响应曲线示于图3。

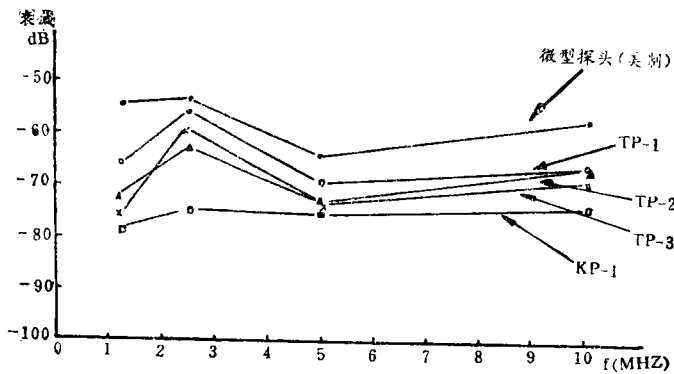


图3 PVDF压电薄膜换能器接收灵敏度的频响曲线

四、讨 论

1. J. Calleram等^[2]曾指出,在几兆赫的频率下,利用硬背衬,PVDF压电薄膜换能器的灵敏度可得到提高。为此,我们做了对比试验。由表2可以看出,在同一发射条件下,黄铜背衬PVDF换能器的接收灵敏度为空气背衬PVDF换能器的1.5至6.5倍。

2. PVDF压电薄膜超声换能器的相对发射灵敏度的对比实验表明,利用黄铜背衬结构,不仅提高了换能器的接收灵敏度,而且提高了换能器的发射灵敏度。从图2可以

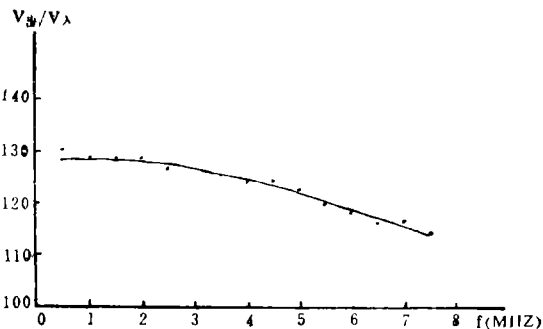
看出,在同样的接收条件下,黄铜背衬的换能器较之空气背衬的换能器,其相对发射灵敏度约提高一倍或更高一些。这对某些应用具有明显意义。

3. 黄铜背衬PVDF换能器相对灵敏度的频响曲线表明,这种结构的换能器同样具有平坦的宽带频响特性。从图3中可以看出,其相对灵敏度的频率响应,在1.25~10.0MHz频率范围内,与美制微型探头比较,起伏相近。(美制微型探头的频响曲线见附图2)

4. PVDF压电薄膜超声换能器在JCZ-1型超声诊断仪激励下,同时作为发、收换能器,在消声水槽中160mm远场范围内,得到的声信号波形和幅度(图3)表明,PVDF压电薄膜超声换能器在医学超声诊断中将会得到应用。

五、结 语

PVDF压电薄膜超声换能器的宽带特性已为一些实验研究所证实^[3,4]。要跨入实用阶段,提高其灵敏度是一个关键问题。本实验采用黄铜背衬的换能器结构,在一定程度上提高了PVDF压电薄膜换能器的发射灵敏度和接收灵敏度,而其宽带频响特性则不变,这对于此类换能器在无损检测和医用超声诊断中的某些应用具有一定价值。



附图1 宽带放大器(自装)频响曲线

(下转第6页)

Wood^[7] 声速公式的计算值则低于实验值,最大偏差达 -4%。

四、结 论

本文在波长远大于粒径 ($ka \ll 1$) 的条件下分析了悬浮液中固体颗粒和液体之间的动力作用,根据小体内固、液二部分应力相等的假设,以及粘滞液体与固体颗粒之间发生相对运动时的附加质量和粘滞阻力的概念,求出了高浓度悬浮液粘滞衰减公式和悬浮液声速公式。计算表明: Epstein 粘滞衰减公式是高浓度公式在低浓度时的简化形式,高浓度公式不但计入了流体对固体颗粒的作用,而且计入了固体颗粒相互间的作用,而 Wood 公式则是悬浮液声速公式在低频时的简化形式,悬浮液声速公式既表示出声速和浓度的关系,又表示出声速和频率的关系。

在 $ka \gg 1$ 而 $\beta a > 1$ 的频率范围进行了衰减-浓度关系实验、衰减-频率关系实验、衰减-粒度关系实验和声速-浓度、频率关系实验,比较广泛地验证了关于高浓度悬浮液声学特性的理论。实验表明:高浓度公式和 Epstein 粘滞衰减公式相比,不但适用的浓度

范围比较大,而且在低浓度时,高浓度公式的计算值也比 Epstein 公式的计算值更接近于实验结果。实验还表明悬浮液声速公式较 Wood 声速公式有所改进。

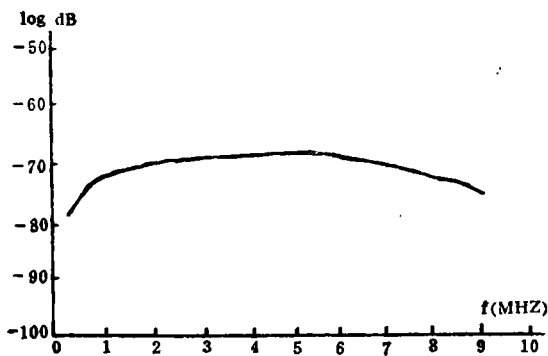
从本文可以知道,悬浮液的声学参量衰减、声速和悬浮液的浓度、悬浮颗粒粒径等重要参数之间在一定范围内存在单值关系,甚至是近似的线性关系,这充分显示了利用超声波进行悬浮液参数测量在水文工作和工农业生产方面具有广阔的应用前景。

应该指出,由于本文的推导过程中引入了许多简化假设,因此本文的结论只适用于这些简化假设近似成立的场合。本文并没有、也不可能全面解决高浓度悬浮液的声学特性问题,这尚有待于今后的进一步工作。

参 考 文 献

- [1] Epstein P. S. & Carhart, R. T., J. A. S. A. 25 (1953). 553.
- [2] 魏荣爵,张淑仪,物理学报, 21(1965), 1061.
- [3] Urlick, R. J., J. A. S. A., 20 (1948), 283.
- [4] Stakutis, V. J., Marse, R. W., Dill M. & Beyer, R. T., J. A. S. A., 27 (1955), 539.
- [5] Hampton A. D., J. A. S. A., 42 (1967), 882.
- [6] Biot M. A., J. A. S. A., 28 (1956), 168.
- [7] Urlick, R. J., J. App. Phys., 18 (1947), 983.

(上接第 14 页)



附图 2 美制微型探头频响曲线(根据出厂证书绘制)
(该频响曲线与本文中所测的灵敏度频响曲线之差别在于测量放大系统的影响)

在实验研究中,中国科学院上海有机化学研究所、五机部 53 所和温州压电元件厂向我们提供了性能良好的 PVDF 压电薄膜,本所副研究员蒋危平同志还给我们的工作以支持和帮助,谨致衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 马乐山、姚绍玉、董其瑾、蒋危平,全国超声显象技术学术交流会报告。1982.4.
- [2] Callerame J., Tancrrell R. H. and Wilson D. T. 1978 Ultrasonics Symposium Proceedings, IEEE cat No 78CH 1344-SU, 117.
- [3] Bui L., Shaw H. J. and Zitelli L. G., Electron Letter 12, 16(1976) 393.
- [4] Swazty R. G. and Plummer J. D., IEEE Transactions on Electron Devices ED-26, 12 (1979) 1921.