

医用超声测量用 PVDF 探针形高频 微型水听器的研制

寿文德 钱德初

(上海交通大学 上海 200030)

1995 年 5 月 8 日收到

摘要 本文叙述了用于医学超声场测量的两种 PVDF 探针形高频微型水听器的设计特点、结构和它们的性能测量结果,最后介绍了在非线性声学研究中的应用实例.

关键词 聚偏氟乙烯, 探针水听器, 超声测量

PVDF probe hydrophones in the high frequency range for ultrasonic measurement in midicine

Shou Wened, Qian Dechu

(Institute of BME, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030)

Abstract This paper describes the designs, constructions, and their measured performances of two PVDF probe hydrophones in the frequency range from 1 to 10 MHz. An example of measurement using the hydrophone in nonlinear acoustic field is demonstrated.

Key words PVDF, Probe hydrophone, Ultrasonic measurement

1 引言

医学超声和冲击波治疗仪器的迅速发展,迫切要求与之相应的各种高频超声微型水听器,用来测定声场参数,评定仪器的声学质量和安全性.在生物医学工程和超声生物效应研究方面,高频微型水听器也是必不可少的关键器件.国外在 80 年代初已研制出 PVDF 压电圆膜形和探针形两种水听器^[1,2],并在以后逐步完善并商品化.它们具有较宽而平坦的频带,能较好地满足低声强超声场的测量.德国还研制了冲击波高压测量用特种针形水听器.这些水听器购置不易.

国内上海交大和中科院上海有机化学研究所合作,于 1985 年研制成 PVDF 压电薄膜水听器,并于 1991 年改型成功,达到国外 80 年代同类产品水平.我们于 1994 年研制了两种探针形高频微型水听器.这类水听器较膜式水听器具有信噪比高(电屏蔽好)、可靠性好、结构牢固不易损坏、指向性与理论计算相符性好的优点,为国际权威组织如 FDA、AIUM^[3]和国际电工委员会(IEC)^[4]标准推荐使用.

2 水听器的结构和声学设计

按照 IEC 1102 推荐的典型结构,我们采用了 PVDF 压电高聚物作为压电元件.因为它

具有很高的压电系数, g_{33} 值为 $330 \times 10^{-3} \text{ V} \cdot \text{m} \cdot \text{N}^{-1}$, 是压电陶瓷的 13.8 倍, 因此接收灵敏度特别高; PVDF 膜厚为 $38 \mu\text{m}$, 厚度共振频率为 31.6 MHz, 远高于水听器的工作频率, 故有平坦而很宽的工作频响范围; 其声阻抗接近于水和软组织, 约为 $3.5 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 因此声场畸变小, 能高保真地接收超声场的脉冲波形. 图 1 示出 PVDF 常用水听器的结构. PVDF 薄膜形成直径分别为 1 mm 和 0.6 mm 的圆片, 嵌装在探针形圆管的前端. 其前表面

由金属保护层所复盖, 并与圆管相连接, 形成封闭的屏蔽外壳, 起到接地引线的作用. 圆片背面的电极与引线相连, 并用吸声的背衬材料衬填. 吸声材料的声阻抗与 PVDF 很接近, 以使背面反射干涉减至最小, 并把透过 PVDF 背面的声波吸收掉. 这种水听器适用于诊断超声的测量. 图 2 示出用于测量治疗超声与冲击波测量的 PVDF 高声强水听器的结构. 采用了顶部为球面侧面为圆锥体的防护套, 提高了耐冲击波高声压的能力. 这种水听器的高声压下的

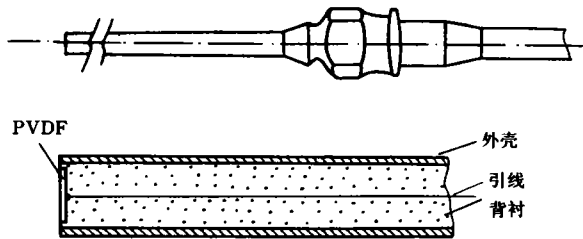


图 1 PVDF 常用针形水听器的结构

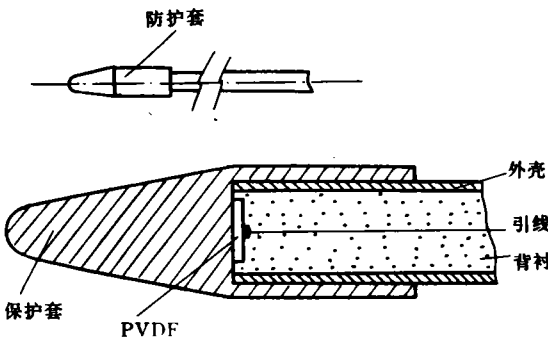


图 2 PVDF 高声强针形水听器的结构

灵敏度校准尚在研究中.

装配与密封是水听器的制作工艺的关键
对水听器的性能影响很大.

3 水听器的性能测试结果

采用上海交通大学医学超声实验室对 IEC 866 推荐的校准方法改进后提出的 SJTU 方应用声学

法^[5], 校准了所研制的水听器. 这种方法已为我国国家标准所采用, 校准的不确定度优于 $\pm 1.5 \text{ dB}$. 图 3 示出对灵敏元件直径分别为 1 mm (4") 和 0.6 mm (48") 的两只水听器的自由场电缆末端电压灵敏度的校准曲线. 因受校准仪器频响所限, 校准结果限于 10 MHz 以下.

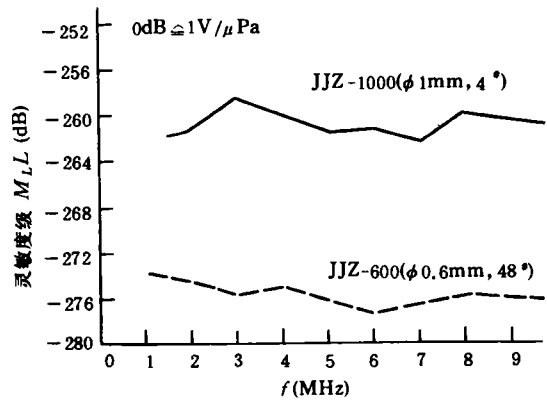


图 3 直径分别为 1 mm 和 0.6 mm 的两只 PVDF 常用高频微型水听器的自由场电缆末端电压灵敏度的频响校准曲线

实际使用表明，研制的水听器可使用的频率上限可达 15 MHz 左右。

图 4 和图 5 分别示出在 3.5 MHz 频率时， $\phi 1\text{ mm}$ ($4^{\#}$) 和 $\phi 0.6\text{ mm}$ ($48^{\#}$) 探针形水听器的水平(实线)和垂直(点划线)指向性图。它们比同样直径的压电元件的膜式水听器的指向性图宽得多，而且测得的指向性图与理论计算结果符合得很好。图 6 示出 $\phi 1\text{ mm}$ 压电元件的膜式水听器在 3.5 MHz 时测得的指向性图。实测结果与理论预测相距较大。

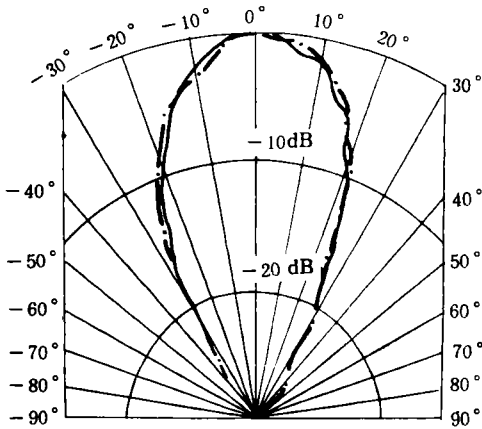


图 4 $\phi 1\text{ mm}$ (JJZ-1000) 水听器
在 3.5 MHz 时的指向性图

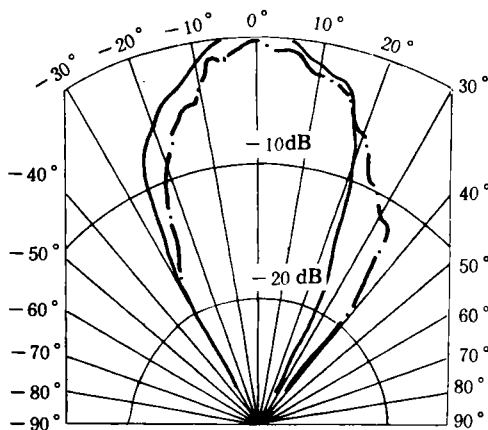


图 5 $\phi 0.6\text{ mm}$ (JJZ-600) 水听器
在 3.5 MHz 时的指向性图

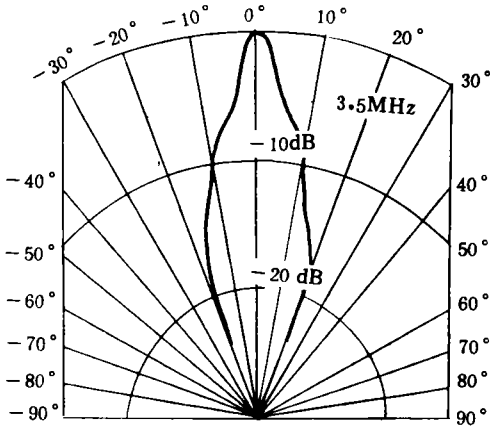


图 6 $\phi 1\text{ mm}$ 圆膜式水听器
在 3.5 MHz 时的指向性图

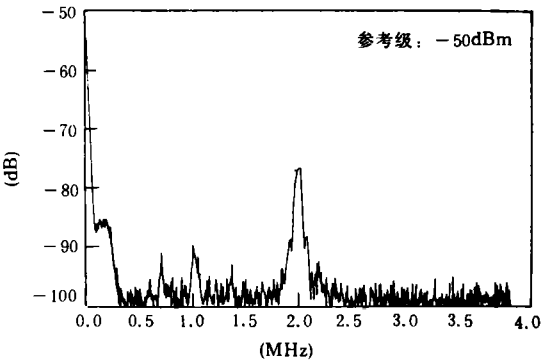


图 7 用 JJZ-1000 型 PVDF 常用针型水听器测得的 2 MHz 超声换能器在 10 V 电压激励下的声压频谱

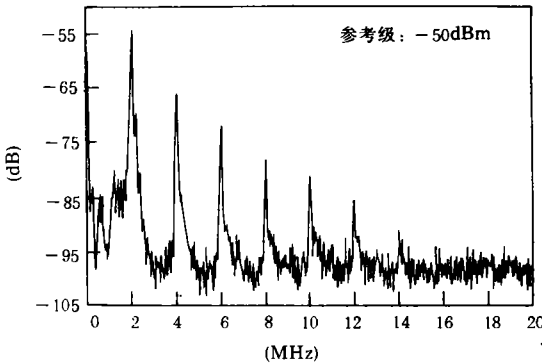


图 8 用 JJZ-1000 型 PVDF 常用针型水听器测得的 2 MHz 超声换能器在 316 V 电压激励下的声压频谱

(下转第 40 页)

这里,我们仅对表面合成处理,计算相对简便.所得合成图像如图4所示.从图中可看出透明效果,本方法适合于简单形状物体的三维显示.

本方法在处理透明问题时,内部缺陷与母材的遮挡是采用线性叠加,获得透明效果,而母材自身的相互遮挡仅用简单的消隐处理.这样处理不影响我们对内部缺陷的位置和分布的正确理解.这种牺牲图像一致性求得计算简化的折衷办法在对整幅图像都有较高要求的场合并不合适.此时,需要采用复杂的合成方法^[9, 10, 15],将被测物体及其内部缺陷看作一个整体,用VR算法处理.

致谢 作者感谢研究组的同事们对本工作的帮助和支持.

参 考 文 献

- [1] Lan C Q, Xiong W. *IEEE Transaction on Medical Imaging*, 1994, 13: 419—425.
- [2] Lan C Q, Chen Y H. *Chinese Journal of Acoustics*, 1993, 12(1): 47—58.
- [3] Xu K K, Lan C Q, Chen Y H. The 19th International Symposium on Acoustical Imaging, 1991.

- [4] 兰从庆,许克克,李琰等.无损检测,1994,16(10): 271—274.
- [5] Hermen G T, Liu H K. *Computer Graphics and Imaging Processing*, 1978, 7: 130—138.
- [6] Ehud Artzy. *Computer Graphics and Image Processing*, 1979, 9: 196—198.
- [7] Udupa J K. *Proceedings of The IEEE*, 1983, 71(3): 420—431.
- [8] Lorensen W E, Cline H E. *Computer Graphics*, 1987, 21(4): 163—169.
- [9] Levoy M. *IEEE Computer Graphics and Application*, 1988, 29—27.
- [10] Drebin R A et al. *Computer Graphics*, 1988, 22(4): 65—74.
- [11] Barillot C. *IEEE Engineering Medicine and Biology*, March 1993, 111—119.
- [12] Tiede U, Hoehne K H, et al, *IEEE Computer Graphics & Applications*, March 1990, 41—53.
- [13] Bui-Tuong P, CACM, June, 1975, 311—317.
- [14] Frieder G, Gordon D, Reynolds R A, *IEEE Computer Graphics & Applications*, Jan, 1985, 5(1): 52—60.
- [15] Porter T, Duff T. *Computer Graphics (Proc. SIG-GRAPH)*, July 1984, 253—259.
- [16] Raya S P, Udupa J K, *IEEE Transaction on Medical Imaging* 9, 1990, 32—42.
- [17] 熊伟,许克克,湖北省声学学会94学术年会论文集, 34—36.

(上接第26页)

4 应用实例

南京大学声学研究所叶式公、章东使用JJZ-1000型($\phi 1$ mm PVDF压电元件)探针形高频微型水听器,研究声波在媒质中传播时的非线性现象.用2 MHz的PAT超声换能器,向水中发射超声脉冲.在距换能器14 cm的声轴上安置水听器接收超声信号,再加以频谱分析.使用10 V和316 V脉冲电压激励换能器,得到水听器输出信号频谱分别示于图7和图8中.由图可见,在316 V电压激励下,声场中出现了4、6、8、10、12和14 MHz的声压谐波

分量,明显地呈现出非线性现象.而在10 V电压激励时,声场中仅有2 MHz基频信号,频谱呈单峰状.

参 考 文 献

- [1] Bacon D R. *IEEE Tran. On Sonics & Ultrasonics*, 1982, SU-29: 370—377.
- [2] Lewin P A. *Ultrasonics*, 1981, 19: 213—216.
- [3] Dunn F. *IEEE Tran. on Education*, 1991, 34: 266—268.
- [4] IEC 1102(1991): Measurement and characterisation of ultrasonic field using hydrophone in the frequency range 0.5 MHz to 15 MHz.
- [5] Show W D. *Proceedings 14th International Congress on Acoustics*, 1992, 4: L P-2.