

# 一种浅海石油勘探PVDF圆管内贴式水听器研制新进展\*

袁易全

(东南大学无线电系 南京·210018)

本文论述了PVDF压电薄膜在我国研制的新进展。还就PVDF压电薄膜圆管内贴式水听器的稳定性与一致性作了深入论述。新的水听器研制表明: PVDF圆管内贴水听器之间, 在20~800 Hz频段, 相位误差约0.29°, 而PZT圆管水听器约3°; 前者的加速度响应约-70dB, 而后者约-50dB。海试还表明: PVDF比PZT水听器拖曳线列阵信噪比高出7dB。

的基础。

## 1 引言

近20年来, PVDF压电薄膜的理论和应用研究, 愈来愈深入<sup>[1-6]</sup>。它的突出优点越来越被水声、医学诊断及智能机器人等领域的科学工作者所重视, 并被实际地应用于非常重要的场合。近几年内, 其中重要成就之一, 就是用PVDF圆管水听器研制海上拖曳线列阵获得成功。我国东南大学、杭州应用声学研究所、北大、中科院声学所、721厂、哈尔滨船舶工程学院及中科院上海有机所等单位, 均在不同时期对此课题进行了研究, 并取得了好成绩<sup>[7-11]</sup>。这对浅海石油勘探的应用有着深远的意义。

本文作者在前几年研制的基础上<sup>[12-15]</sup>, 着重对这类新型PVDF圆管内贴式水听器的稳定性与一致性作了较深入的研究。发现它比PZT压电陶瓷圆柱水听器有更小的相位误差, 有更好的压电一致性。这为今后的应用和批量生产提供了有利条件。本文同时介绍了PVDF压电薄膜研制的新进展, 这是研制高质量PVDF压电水听器和其它传感器

## 2 PVDF压电薄膜研制新进展

### 2.1 概述

PVDF压电薄膜的主要性能特点<sup>[1]</sup>是: 压电电压常数(g常数)高,  $g_{31} \geq 220 \times 10^{-3}$  Vm/N, 比PZT压电陶瓷高出20倍以上; 频响宽, 在室温下从 $10^{-5}$  Hz到 $5 \times 10^8$  Hz都有平坦频率响应; 声阻抗低,  $\rho c$ 为 $3.5 \times 10^6$  kg/m<sup>2</sup>·s。在实际应用中, 这种压电薄膜所呈现的快速上升反应性能仅几ns, 下落特性仅几十ns。而且外加脉冲力(或电)作用后的回零性能以及重复性和稳定性等极好。经过十多年的研究, 中国科学院上海有机化学研究所提供的研制样品的主要性能指标已经赶上或超过国外同类样品的性能指标。新近研制的PVDF性能又有提高, 见表1、2及图1、2、3。

\* 本文为国家传感技术开放实验室的资助项目  
收稿日期: 92-2-2; 修回日期: 93-4-19

表 1 PVDF压电薄膜特性比较\*

样 品	压电应变常数 $d_{31}$ (PC/N)	压电电压常数 $g_{31}$ ( $10^{-8}$ Vm/N)	退极化 温度 ( $^{\circ}$ C)
上海有机所	$\geq 23$	$\geq 220$	135
美国Kynar	19	180	70
日本KF薄膜	18	170	77

\* 本表测试日期1992年3月, 仪器为2J-2型 $d_{33}$ 静态测量仪。

表2 室温自然老化衰减情况一览表\*

测试日期	环境温度	$d_{33}$ (PC/N)	样品编号
83.5.23	25 $^{\circ}$ C	14.5	83-2F 混2
84.5.25	26 $^{\circ}$ C	14.0	83-2E 混2
91.8.24	28 $^{\circ}$ C	14.0	83-2F 混2

\* 所用仪器为2J-2型 $d_{33}$ 静态测量仪。

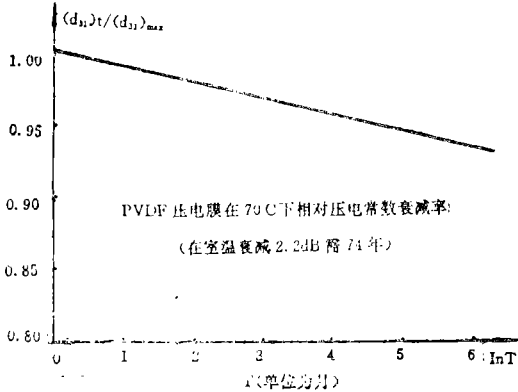


图1 PVDF压电薄膜老化特性变化规律

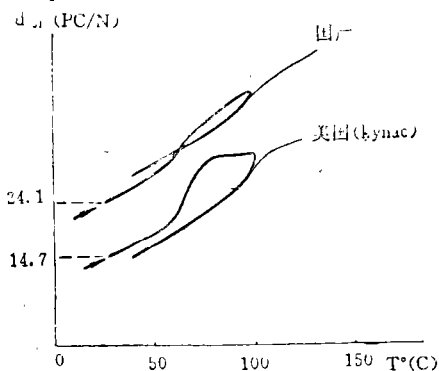


图2 PVDF压电薄膜稳定性(升温、降温)试验

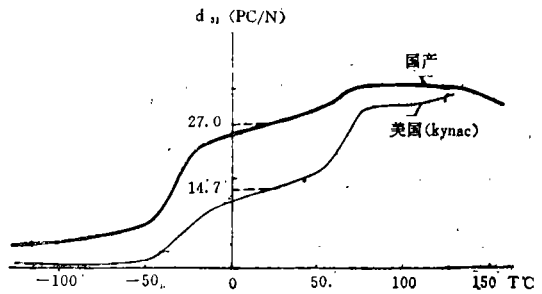


图3 PVDF压电薄膜 $d_{31}$ 随温度变化全过程

## 2.2 PVDF压电薄膜稳定性

### 2.2.1 时间稳定性

如图1所示, 经过理论计算与老化试验。压电常数衰减2.2dB需要74年时间。1991年8月的实测值与1983年5月的实测值相比几乎看不出衰减变化, 见表2所示,

### 2.2.2 温度稳定性

当PVDF压电薄膜在升温至100 $^{\circ}$ C, 再降温至室温, 复测诸变化点的压电常数值, 绘出曲线示于图2。由图2可见, 压电常数 $d_{31}$ 在上升温度时某点值与在下降温度时某点值相比较,  $d_{31}$ 几乎保持恒定值或变化小于测量误差。

## 2.3 PVDF压电薄膜灵敏度最新测定

图3为中科院上海有机所PVDF材料标准试样与近年进口的美国Kynar PVDF材料同样尺寸试样, 在同一“Dynamic Piezoelectricity Analyzer”TOYO, SEIKI, Japan装置上(室温, 1 Hz时)测定 $d_{31}$ 的变化特性。测定时, 温度从-100 $^{\circ}$ C至+150 $^{\circ}$ C范围内连续测定, 自动记录, 由图3可知, 在-20 $^{\circ}$ C至+55 $^{\circ}$ C温度范围内, 压电常数 $d_{31}$ , 国产比美国样品高出一倍(即约6dB)。

## 3 PVDF圆管水听器研制新进展

### 3.1 概述

作者在中科院有机所PVDF薄膜功能材料优良性能基础上,又与该所共同研制成了一种体积更小、重量更轻、灵敏度高、加速度响应低及耐高静水压(水下200m)的高质量PVDF压电薄膜圆管水听器,它特别适用于浅海石油勘探拖曳线列阵的水听器。它的外观照片如图4所示。

压电陶瓷圆管水听器的相位一致性约 $3^\circ$ ; 频



图4 PVDF圆管水听器外观

### 3.2 灵敏度及相位一致性

表3为耐高压高分子PVDF压电薄膜拖曳水听器的灵敏度与相位特性。由表3可见:灵敏度的一致性为 $\pm 1.5\text{dB}$ ;相位一致性为 $\pm 0.15^\circ$ (从20Hz至800Hz频率范围)。PZT

表3 耐高压高分子压电薄膜PVDF拖曳水听器灵敏度及相位特性\*

频率f(Hz)	灵敏度 M(dB)**				相位角 $\Delta\theta(^{\circ})$			
	0°	1°	2°	3°	0°	1°	2°	3°
20	-195.27	-196.95	-197.43	-197.03	61.2	61.2	61.7	61.4
25	-195.18	-196.63	-197.33	-196.77	41.0	42.0	41.5	42.0
31.6	-195.09	-196.67	-197.03	-196.62	27.2	27.0	27.4	28.0
40	-195.12	-196.62	-197.10	-196.63	15.0	15.0	15.8	14.5
50	-195.02	-196.13	-197.12	-196.47	12.3	12.0	12.2	12.4
63	-195.00	-196.53	-197.01	-196.52	4.0	4.0	4.8	3.8
80	-194.95	-196.50	-197.05	-196.87	357.2	356.9	357.7	354.6
100	-195.17	-196.85	-197.43	-197.02	353.6	354.0	354.7	354.8
125	-195.31	-196.87	-197.35	-197.01	354.2	353.0	355.0	351.8
160	-195.27	-196.82	-197.27	-197.00	351.9	352.0	352.5	352.3
200	-195.23	-196.95	-197.21	-196.88	350.5	350.6	350.7	350.3
250	-195.13	-196.92	-197.22	-196.95	349.2	349.5	349.4	349.2
315	-195.03	-196.72	-197.22	-196.91	348.0	348.2	348.3	347.9
400	-195.05	-196.73	-197.15	-196.84	346.7	347.0	346.9	346.5
500	-194.81	-196.63	-197.12	-196.89	345.1	345.3	345.3	344.8
630	-194.51	-196.43	-196.92	-196.76	343.2	343.5	343.3	343.4
800	-194.16	-196.66	-197.30	-197.09	340.0	341.5	341.7	341.7
1000	-193.03	-194.26	-197.21	-195.21	318.7	320.9	338.9	339.0

注:时间:1990年4月16日;温度:15℃;湿度60%;测试方法:振动液柱法水听器尺寸:  $\phi 25 \times 40$  mm,自重:17.5克、地点:浙江富阳,国防科工委水声一级计量站。测试工作人员:薛耀泉、袁易全。  
\*“耐高压”:指在200m水下工作,灵敏度保持不变。 \*\*0dB=1V/ $\mu$ Pa。

段内的平均灵敏度为-194.4dB至-196dB；耐高压2MPa；从2MPa变化至常压范围内，灵敏度起伏小于2dB。这就较好地解决了有机高分子薄膜在深水条件下长期工作的难题。

### 3.3 轴向加速度响应

浅海拖曳线列阵轴向加速度响应是该系统在诸多环境噪声干涉中较为突出的一个因素。PVDF圆管水听器比PZT圆管水听器低一个数量级。表4为对新研制品实测的轴向加速度响应频响值。即从20Hz至200Hz内平均轴向加速度响应值-70~-80dB (0dB=1V/g)。由于这一优良特性，在1991年12月海试中证明：它的探测信号的信噪比，比PZT拖曳线阵高7dB。

### 3.4 PVDF与PZT圆管拖曳水听器综合比较

表5为PVDF与PZT圆管拖曳水听器性能综合特性比较。美国AQ-2及AQ-4是国际90年代公开发表的指标特性参数。中国PCH-I及中国PCH-II即为本文作者研制的最新样品。从表5比较可知，除了耐压一项之外，其余各项特性指标PVDF均占有绝

对优势。所以，它对于浅海石油勘探拖曳线列阵应用是非常理想的器件。

表4 PVDF拖曳水听器轴向加速度响应特性

频率 f (Hz)	加速度 1g (dB)			
	0*	1*	2*	3*
20	-67.33	-65.35	-69.62	-75.39
25	-67.33	-65.67	-69.62	-74.42
31.5	-67.13	-65.19	-70.17	-80.00
40	-67.13	-65.67	-69.11	-80.00
50	-67.93	-64.88	-69.11	-80.00
63	-67.74	-64.88	-69.11	-78.41
80	-67.13	-64.88	-69.37	-78.41
100	-66.95	-64.73	-70.45	-78.41
125	-67.93	-64.73	-67.13	-80.00
160	-67.53	-65.03	-68.40	-80.00
200	-67.53	-64.73	-69.62	-80.00

注：测试条件同表3 \*0dB=1V/g；

表5 PVDF与PTZ圆管水听器综合比较

型号类别	灵敏度 (dB)*	加速度响应 (dB)**	起伏 (dB)	电容量 (pf)	耐压 (m)	外形尺寸 (mm)	重量 (g)
美国AQ-2	-197	-60dB	±1.5dB	3500	1700 (0.8dB)	φ25.4/33	15.4
美国AQ-4	-201	-70~ 60dB	±1.5dB	2400	1700	φ33/37	54
中国PCH-I	-191	-80dB	±0.5dB	3360	200	φ30/46	
中国PCH-II	-194.4	-70dB	±0.5dB	6860	200 (2.0dB)	φ25/40	17.5

\*0dB=1V/μPa； \*\*0dB=1V/g

## 4 结论

(1) PVDF压电薄膜完全可替代PZT压电陶瓷制作浅海石油勘探圆管拖曳线列阵水听器；

(2) 替代后的新型PVDF圆管拖曳线列阵水听器有以下优点：

- a. 重量轻；
- b. 耐冲击，不易受各种环境干扰；
- c. 轴向加速度响应比PZT圆管低一个数量级；

- d.在静压力作用下,灵敏度略高;  
e.工艺简单,成本低,相位一致性好,性能稳定可靠,频响平坦,信噪比高。

本文得到中科院上海有机所时炳文、沈寿彭高工的大力合作,在此一并致谢。

### 参考文献

1 G.M.Sessier. Piezoelectricity in Polyvinylidene fluoride. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1981, 70, 1596~1608.

2 Andrew J. Lovinger, *Ferroelectric Polymers. Science*, 1983, 22(4602): 1115~1121.

3 G.R.Harris. A model of the effects of hydrophone and amplifier frequency response on ultrasound exposure measurements. *IEEE Trans. on UFFC*, 1991, 38(5): 413~417.

4 S.W.Smith, G.P.Jr. Henrp and T. Von Ramm olaf. High-speed ultrasound volumetric imaging system I: Transducer design and beam Steering. *IEEE. Trans. on UFFC*, 1991, 38(3): 100~108.

5 D.Ricketts. Model for a Compliam. Tube Polymer Hydrophone. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1986, 79(5): 1603~1609.

6 D.Ricketts. Electroacoustic sensi-

tivity of composite piezoelectric polymer cylinders *J. Acoust. Soc. Am.* 1980, 68(4): 1025~1029.

7 Yuan Yiquan, Shi Binwen. A cylindrical hydrophone made of PVDF piezoelectric polymer and its performance. *Sensors and Actuators*, 1993, 35(3): 231~234.

8 祁文康等. PVDF超声探头的特性和电学匹配. *应用声学*, 1992, 11(2): 36~39.

8 朱厚卿, 张金铎. PVDF压电聚合物复常数的测量及其温度特性. *应用声学*, 1992, 11(1): 25~29.

10 栾桂冬, 张金铎. 圆柱形软背衬PVDF水听器. *应用声学*, 1992, 11(6): 13~17.

11 蔡崇成, 沈寿彭, 时炳文. 圆管形PVDF压电薄膜水听器轴向加速度电压灵敏度响应的理论分析. *哈尔滨船舶工程学院学报*, 1992.

12 时炳文, 沈寿彭, 袁易全. 聚偏氟乙烯压电薄膜材料及圆管. *中国科学院传感技术联合开放国家实验室论文集*, 1990, 135~140.

13 袁易全, 时炳文, 沈寿彭. 有机材料与PVDF复合连结圆管水听器. *声学技术*, 1989, 8(2): 24~27

14 袁易全, 时炳文, 沈寿彭. PVDF圆柱水听器的最新特性. *声学技术*, 1991, 10(1): 15~17

15 袁易全. 超声换能器p. 378, 南京大学出版社. 1992年9月。

