

有机材料与PVDF复合连结圆管水听器

袁易全 时炳文 沈寿彭

(东南大学无线电工程系) (中科院上海有机所)

摘 要

本文介绍了一种高灵敏度的有机材料与PVDF复合连结圆管水听器。对其结构、原理及实测数据进行了讨论。该水听器具有低Q值、低声阻抗率,易于与水介质匹配,重量轻、柔软性好、不易破碎,易于在漂浮或半漂浮状态下工作等特性,其 g_{31} 为 270×10^{-3} v/m/N, h_p 为 $75 \mu\text{m}$, 实测自由场接收灵敏度为 $-202\text{dB} \pm 1\text{dB}$ 比Donald Ricketts的实测值高出 10dB ($200-2000\text{Hz}$ 频段内)。它优于实心PZT压电薄壳圆管水听器,可以替代传统的PZT水听器,成为新一代的海洋探测水听器或换能器。

一、前 言

长期来,PZT实心压电陶瓷有限长圆管水听器作为水声测量器件获得了广泛的应用。但是其声阻抗率与水介质严重失匹,声阻抗率比水大20多倍,从而严重影响它的接收灵敏度。国际上最好的PZT圆管水听器灵

敏度为 -210dB ($0\text{dB} = 1\text{V}/\mu\text{Pa}$)。其次压电实心PZT圆管的密度大,达 $7.8\text{kg}/\text{m}^3$,在海洋介质中漂浮状态工作带来许多困难。

倘采用聚偏二氟乙烯(Polyvinylidene fluoride)即简称PVDF作换能材料,因它有较低的声阻抗率,见表1。它的灵敏度高、Q值低;柔顺性好,不易破碎和压电常数 g 高,见表2;可实现准静态、音频及超声频段的机电换能,并耐湿度、时间稳定性好。采用有机材料与PVDF压电薄膜复合连结的圆管型水听器,就能克服PZT实心圆管水听器的缺点,研制出更理想的水听器。

表1. 不同材料的声学特性〔2〕

物 质	密 度 $10^3\text{kg}/\text{m}^3$	声 速 $10^3\text{m}/\text{s}$	声阻抗率 $10^6\text{Pa} \cdot \text{s}/\text{m}$
水	1.00	1.50	1.5
PVDF	1.80	2.10	3.7
PZT-5A	7.75	4.35	33.7
黄铜	8.5	4.40	37.0
环氧树脂	1.20	2.50	3.0
瓷	2.41	4.88	11.7
聚四氟乙烯	2.20	1.38	3.05

表2. PVDF与其它压电体的物质常数〔3〕

物 质	切 向	密 度 $10^3\text{kg}/\text{m}^3$	弹性模量 10^9Pa	介电常数 ϵ/ϵ_0	压 片		耦合数 K_{90}
					$d(\text{PC}/\text{N})$	$g(10^{-3}\text{V} \cdot \text{m}/\text{N})$	
石 英	x	2.65	77.2	4.5	2	50	10
罗 歌 盐	45°x	1.77	17.7	350	275	90	73
BaTiO_3	2	5.7	110	1700	78	5.2	21
PZT	2	7.5	83.3	1200	110	10	30
PVF_2/PZT	2	3.5	4.0	55	69	47.1	6.6
PVDF	2	1.76	3.0	13	20	174	19

本文叙述了一种有机材料与PVDF压电材料复合连结的圆管水听器。文中介绍了它的结构及计算公式和实际测试性能。研制表明：由于本设计采用厚PVDF (75 μm) 以及高灵敏度PVDF (g_{31} 为 $270 \times 10^{-3} \text{V} \cdot \text{m}/\text{N}$)，所以，平坦频响 (100Hz至2000Hz 范围) 的自由场灵敏度值约 -201dB (0dB = $1\text{V}/\mu\text{p-1}$)，高于Donald Ricketts^[1] 的实验数据 (D·R 值 -212dB, $h_p = 27\mu\text{m}$, $g_{31} = 180 \times 10^{-3} \text{V} \cdot \text{m}/\text{N}$)。

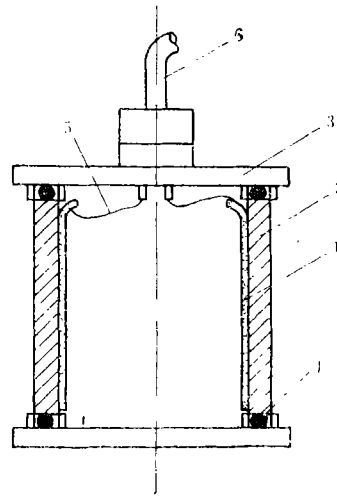
二、结 构

有机材料与PVDF复合连结圆管水听器如图1所示。

由图1可知：PVDF内贴在有机材料内侧的复合连结圆管水听器重量轻；声接收面光滑形状规则；引电极线结构可靠；O形圈连结水密性好；容易建立电屏蔽层等。

三、原 理

图1所示的有机材料与PVDF复合连结



1. PVDF 压电薄膜(厚75 μm)；2. 有机材料；3. 金属外壳；4. O型橡皮圈；5. 电极引线；6. 外电缆。

图1. 有机材料与PVDF复合圆管水听器结构图；

表3. 国产PVDF压电薄膜性能

厚度 h_p (μm)	压电应变常数 d_{31} (PC/N)	压电电压常数 g_{31} ($10^{-3} \text{V}\cdot\text{m}/\text{N}$)	弹性常数 E N/M^2	相对介电常数 ϵ/ϵ_0	介电损耗 $\text{tg}\sigma$	密度 ρ ($10^3 \text{kg}/\text{m}^3$)	断裂强度 σ (N/m^2)	电阻率 ρ_R ($\Omega\cdot\text{m}$)
25~130	24~29	200~270	3×10^9	12~14.5	0.01~0.02	2.2	330~ 370×10^6	3×10^{15}

注：表内数据由中国科学院上海有机化学研究所提供。是在10Hz条件下测定值。

圆管水听器，呈现两端盖帽式的声学结构，其设计计算公式由文献^[1]给出。它在水下的自由场接收灵敏度频响为

$$M_0 = \gamma_{11}^D h_p (Z_{g_{31}} + g_{32}) / E(1 - \rho^2) \quad (1)$$

式中 γ_{11}^D 为杨氏模量； h_p 为PVDF的厚度； E 为弹性模量； $\rho = b/a$ 即圆管内外径之比； g_{31} 、 g_{32} 分别为拉伸方向及垂直拉伸方向的压电电压常数(见表3)。表3为国产PVDF的压电薄膜性能。

大家知道，水听器后接电缆有一定的电容量，约100pf/m，共长5m，计有500pf的电容量，实际PVDF复合压电圆管的接收电压灵敏度，已经由于电缆分布电容而受到衰

减。这插入衰减的计算可近似为

$$\alpha(\text{dB}) = 20 \log \frac{C_{\text{电缆}}}{C_{\text{电缆}} + C_{\text{水听器}}} \quad (2)$$

故实际真值为

$$M_{\text{实}} = M_{\text{测}}(\text{dB}) - \alpha(\text{dB}) \quad (3)$$

四、测试结果

于1988年7月由国家计量局成都测试研究院校正的该水听器(1号)自由场电压接收灵敏度(200Hz~2000Hz)如表4所示。同时由(3)式计算得的亦列入表3。

由式(1)算得的 M 理论值亦同列于表3。表3的

表3.1号PVDF复合圆管水听器自由场接收电压灵敏度

频率 (HZ)	200	250	315	400	500	630
灵敏度 $M_{理}$ (dB)	-201	-201	-201	-201	-201	-201
灵敏度 $M_{测}$ (dB)	-204.6	-204.8	-204.9	-205.1	-205.2	-205.7
灵敏度 $M_{实}$ (dB)	-203	-203.2	-203.3	-203.5	-203.6	-203.9
频率 (HZ)	800	1000	1250	1600	2000	/
灵敏度 $M_{理}$ (dB)	-201	-201	-201	-201	-201	
灵敏度 $M_{测}$ (dB)	-205.7	-205.9	-206.7	-206.0	-206.5	
灵敏度 $M_{实}$ (dB)	-203.9	-204.1	-204.9	-204.2	-204.9	

注：电缆电容5.96nF，温度24℃，气压93.5KPa，0dB为1V/μPa。测日期：1988年7月。

值绘成曲线示于图2。

在东南大学无线电工程系消声水池测试的该水听器(1号)自由场电压接收灵敏度(3KHz~16KHz)

表4.1号PVDF复合圆管水听器实测值(2—16KHz)

频率 (KHZ)	丹麦 e_{8100}	e_1	M_{8100} (dB)	$M_{真实}$ (dB)
3	0.112	0.50	-205.4	-202.4
4	0.255	1.05	-206.0	-203.7
5	0.42	1.30	-206.2	-206.7
6	0.65	0.50	-206.0	-208.3
8	1.10	4.30	-207.0	-205.2
10	1.63	7.20	-207.0	-204.1
12	1.50	3.80	-207.0	-208.2
14	1.80	5.10	-207.0	-208.1
16	4	3.3	-206.5	-218.2

*0dB = 1V/μpa, 测试日期1987年5月。

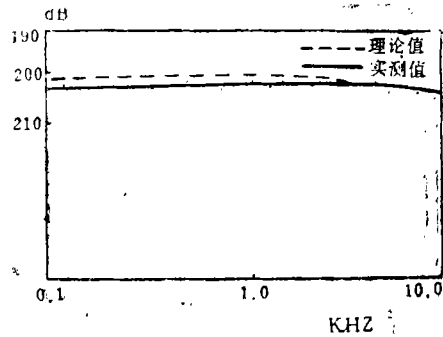


图2 1*200—2000Hz频响特性曲线

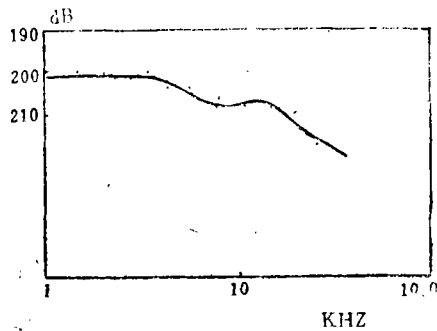


图3 1*3KHz—16KHz频响特性曲线

五、结 论

1. PVDF与有机材料复合连结圆管水听器重量轻、灵敏度高, 低频自由场接收灵敏度平坦区宽、起伏小, 易于在漂浮或半漂浮状态工作;
2. PVDF的 g_{31} (压电电压常数)越高、PVDF的薄膜越厚, 以及 $\rho = b/a$ (即圆管内外径之比)越大(<1)则水听器的自由场接受灵敏度越高;
3. 本研制品的 g_{31} 为 $270 \times 10^{-3} \text{Vm/N}$, h_p 为 $75 \mu\text{m}$, 实测灵敏度为 $-202\text{dB} \pm 1\text{dB}$ 比Donald Rickett^[1]的实测值高出 10dB ($200-2000\text{Hz}$ 范围内); 它亦优于实心PZT压电圆管水听器 -205dB ^[4]。

4. PVDF与有机材料复合连结圆管水听器在接近圆管径向谐振频率附近略呈现谐振峰。但接收灵敏度比低频率接收灵敏度低些。

参考文献

- [1] Donald Ricketts; J. Acoust. Soc. Am. 68(4), (1980)1025,
- [2] C. Desilvers, J. Fraser; IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, SU-25-3(1978), 115,
- [3] H. R. Gallantree; Marconi Rev, 45 (224)(1982), 49-,
- [4] B & K型号产品目录: 8100型标准水听器(DENMARK)。

CJ-1型超声检漏仪在南京通过省级科学技术成果鉴定

CJ-1型超声检漏仪能检测 $42 \sim 44 \text{KHZ}$ 频率范围之超声波, 并将该频段的不可听超声波转变成可听的声音。它特别能在强烈的可听(音频)噪声环境中及时, 迅速发现压力容器的气、液相微弱泄漏; 真空系统倒泄漏; 机械摩擦; 高压弧光(火花)及电晕声等。

上海华东电力试验所于1985年引进美国HP公司4905A型空气电火花超声检测仪。实用证明, 引进是成功的。为了消化引进设备, 转化为我国技术, 赶超国际水平, 1986年东南大学决定参照HP公司4905A型仪器自行研制。经过两年时间, 终于研制成功。在一些方面有自己的特色。

1988年12月20日, 经江苏省科委审定并委托江苏省教委主持, 在南京通过了省级技术鉴定。鉴定会认为, 由东南大学研制的CJ

-1型超声检漏仪已达到80年代国际水平。在国内处于领先地位。CJ-1型整机的检测水平与美国HP4905A型基本相同。CJ-1机具有较高的灵敏度与信噪比。在邮电通信, 电力及核工业等部门的故障检测工作中将有广泛的应用价值。

CJ-1型超声检漏仪经过无锡市邮电局、西安变压器电炉厂、西安开关厂、核工业部核动力运行研究所质保中心、华东电力试验研究所高压室等单位的广泛测试和使用。已产生了显著的社会效益和经济效益。例如, 前不久, 在无锡邮电局充气电缆班的检漏工作中, 过去采用气敏卤素检漏仪需6人操作。现在CJ-1超声检漏仪只需两个人就能完成, 且查漏时间大大缩短, 查漏准确率大大提高。工作效益显著改善。 (袁易全)