

测量用驻极体电容传声器

陶中达 宋燕君 康锡泉 李秀珍 陈荣普

(中国科学院声学研究所)

1986年2月27日收到

本文介绍了用于精密声学测量的驻极体电容传声器的结构、设计原理及主要性能。该种传声器的主要特点是采用金属振膜后驻极体结构,因而它既具有电容传声器的灵敏度高,频响平直、动态范围大及稳定性好等优异特性,又兼不需要外加极化电压及可在高潮湿环境下工作的特点。因此特别适宜于与微机配套而形成完整声信号提取和处理装置。在当前的声学研究及环境噪声监测等领域具有广泛应用价值。

一、概 述

在几乎每一项用于非电量测量的电子设备中,传感器是最为薄弱的一环。通常,测试的精度及可靠性主要地取决于测试传感器的选择及正确地使用。声学中最基本的量是声压,其单位为帕($1\text{N}/\text{m}^2$),测定声压只能依靠传声器将声压量转换为电学量后再予以精确标定。因此要求测量传声器具有高度稳定性和很高的校准准确度。目前标准传声器的稳定性要求达到 $0.02\text{dB}/\text{年}$,相应的校准准确度则要求更高,因此国际上只有很少几个国家(美、日、丹麦)能够制造这类标准测量传声器。

电容传声器具有灵敏度高、频响平直、稳定性好、动态范围宽(达 120dB)以及可以绝对校准等优点。因此被广泛用作测量传声器或标准传声器。但电容传声器也有其根本的缺点,即由于在其膜片及后极板间需加上极化电压(通常为 200V),加之膜片与后极板间的间隙非常小(约为 $20\mu\text{m}$),因此极间的场强高达 $100\text{kv}/\text{cm}$;这就产生了一系列问题:一是在潮湿的环

境下,膜片与后极板间容易产生放电现象,使传声器噪声增加以致无法工作;二是为了提供极化电压,使设备变得复杂,不利于小型化;三是提供极化电压回路的时间常数有一定限制,因此,传声器的低频响应不够低;再由于外部极化电压源通常均具有一定的波纹电压或交流哼声,使传声器的本底噪声低不下来。因此,一些国家一直在致力于找到一种保留电容传声器优点而克服其缺点的测量或标准传声器设计。其中最有成效的即驻极体电容传声器。

驻极体的名词最早于19世纪由亥维塞提出。世界上第一块驻极体是1919年由日本科学家江口制成。但真正的实用驻极体器件是60年代初期贝尔实验室的塞斯勒和韦斯特所发明的聚合物薄膜驻极体传声器。随后,60年代末到70年代初,随着驻极体材料发展,这种结构的传声器目前已被广泛应用,年产量已达数亿只。

驻极体电容传声器实际上就是预先极化的电容传声器。由于预先极化,因此由极化电压所带来的一系列缺点均得到克服。但驻极体层的存在又带来另外一些问题,如电荷的稳定性

及寿命, 传声器的温度系数很差以及聚合物膜片材料的力学性能不稳定等因素, 使通常的驻极体传声器无法用于测量目的。为此, 许多国家的实验室及公司均进行了大量工作, 其中有以下两例:

1. GR 公司 1961/9602 型测量用驻极体传声器^[1]。其结构见图 1。金属后极板开槽或喷砂, 膜片可直接贴在后极板上, 系统劲度主要由极间的空气隙提供。这种传声器的电声性能要比相应的电容传声器差, 最根本的缺点是由于采用高分子聚合物驻极体箔作为传声器膜片, 其膨胀系数比后极板及外壳等金属件相差很大。因此, 这种传声器虽然采用了经特殊设计的元件进行温度补偿, 但其温度系数还是稍差的 ($0.02\text{dB}/^\circ\text{C}$)。

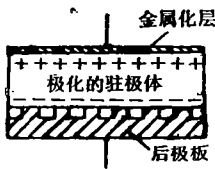


图 1 GR 公司传声器结构

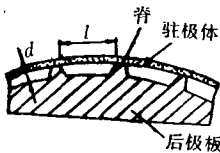


图 2 矩形膜弧形后极板传声器

2. 矩形膜凸弧后极板结构^[2], 如图 2 所示。由于用作驻极体的优良材料 Teflon 或 FEP 力学性能较差, 采用矩形膜片在单方向受力可改善其力学性能。后极板采用凸起的圆弧形, 其上有“脊”, 控制背脊的高度 d 及间隔 l 等参数, 可得到灵敏度对电荷的“自补偿”。据报道, 这种结构传声器的灵敏度变化 3dB 的平均有用寿命为 $10-20$ 年。

以上这些结构的最大缺点是由于采用驻极体膜作为振动膜片, 因而无法克服驻极体材料力学性能较差, 以及驻极体材料与基体金属材料间的膨胀系数差异之矛盾。采用补偿往往得

不偿失, 其一是增加了误差源, 其二是增加了体积及成本。

以上结构的传声器有的还是实验室结果, 有的虽然已有商品, 但其性能还不是十分理想的。

二、我们的新型金属膜后驻极体测试传声器

我组在 CH 系列电容传声器的基础上, 通过多年来在驻极体材料、极化机理及电荷测量理论^[3]以及驻极体传声器的设计原理^[4](包括最佳设计考虑)等方面的摸索与探讨的基础上, 于 1979 年首先提出了金属膜后驻极体测量传声器的结构^[5], 从而比较完满地实现了用驻极体做成测量传声器的设想。这种传声器采用金属振膜, 因而有优越的力学性能, 且能与基体金属具有相同的膨胀系数。又采用了我组独创的“脱胎镀膜”工艺, 使膜片与壳体成为一体, 因而具有优异的机械稳定性。驻极体是烧结在后极板上的, 由于屏蔽在金属膜片后的腔内以及正确地选材及先进的极化、老化工艺, 因而可获得较理想的稳定性。其结构简图示于图 3。

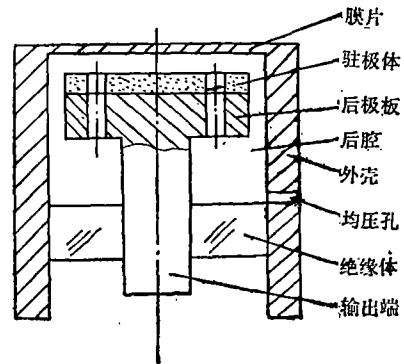


图 3 金属膜后驻极体电容传声器简图

这种结构的传声器, 我们在 1978 年底做成 $\phi 24\text{mm}$ 的初样, 并在 1979 年 5 月第二届全国声学学术讨论会上作了报告^[5]。这在当时国际上是属于首创(丹麦 B & K 公司于 1979 年底, 在该公司自办的 Technical Review 上发表了类似结构, 比我们的晚半年)。

为了适应现代声学测试工作的需要,我们近来又研制成 CHZ-13/14 型测量用驻极体电容传声器,它是小型、高灵敏度的,其外径为 $\phi 12\text{mm}$,但其灵敏度和频率范围均与外径为 $\phi 24\text{mm}$ 的电容传声器相当,从而减小了传声器对声场的干扰。这对声学测量的小型或微型化更为有利。由于不需要极化电压,故可取消复杂的附属电路。且其抗潮性能远比电容传声器为佳,又具有很好的稳定性。因此这种传声器非常适合于与微机及配套而形成完整的声学信号提取、处理装置。这在当前的声学研究,环境保护以及国防(如核爆炸次声波及其它爆炸声波的分析研究)、工业农业生产的科学研究上均有广泛用途。

三、设计原理

金属膜后驻极体电容传声器的设计原理基本与电容传声器相同。所不同的是如何考虑驻极体材料的影响以及弄清驻极体等效偏压与极化电压的等效关系。图 4 为驻极体传声器放大后的截面图。此图对膜片式驻极体传声器及后极板传声器均成立,它等效于一个固体介质电容器与一个气体介质电容器相串联。等效电容为

$$C = \epsilon_0 A / [(D/\epsilon_r) + d_0] \quad (1)$$

式中 A ——极板面积; D ——驻极体厚度; d_0 ——空气隙厚度; ϵ_0 ——空气介电常数; $\epsilon_0 \epsilon_r$ ——驻极体材料介电常数,即电容器等效间距为 $d = (D/\epsilon_r) + d_0$ 。当驻极体上有电荷时,就会在极板间感应电压,称为等效偏压。若已知驻极体表面电荷面密度 σ_c ,则可由公式 $V = \sigma_c D / \epsilon_r \epsilon_0$ 求出等效偏压 V ,这个偏压就相当于传声器的极化电压。这样,问题就变得简单了。一个驻极体电容传声器,只要把它的极间距离取为等效间距 $d = (D/\epsilon_r) + d_0$,把等效偏压看作极化电压,就可用熟知的电容传声器的设计方法来进行设计。

电容传声器的灵敏度表达式为^[4]

$$S = 3/4 \cdot \frac{E_0}{d \omega_0^2 \sigma_m} \quad (2)$$

式中 E_0 ——极化电压; d ——极间距离; ω_0 ——第一共振角频率; σ_m ——膜片的力学面密度。

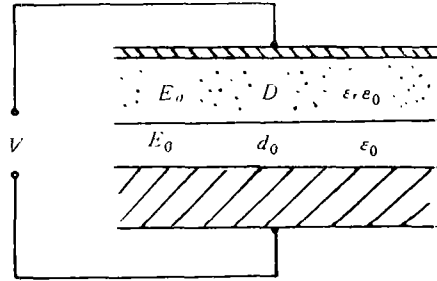


图 4 驻极体传声器截面示意图

将 $d = (D/\epsilon_r) + d_0$ 及 $E_0 = V = \sigma_c D / \epsilon_r \epsilon_0$ 代入上式,即得驻极体电容传声器之灵敏度表达式

$$S = \frac{3}{4} \frac{V}{(D/\epsilon_r + d_0) \omega_0^2 \sigma_m} \quad (3)$$

若只知道驻极体层的面电荷密度,则相应的传声器灵敏度表达式可写为

$$S = \frac{3}{4} \frac{\sigma_c D}{\epsilon_r \epsilon_0 (D/\epsilon_r + d_0) \omega_0^2 \sigma_m} \quad (4)$$

关于其它参数的设计考虑,基本同电容传声器,从略。下面简述最佳设计问题。

电容传声器以及带有固体介质层的电容或驻极体传声器的最佳设计,已有不少人做了工作^[6-7]。其基本考虑是张紧圆膜(与半径 a 及张力 T 有关)情况下,找出极化电压(或驻极体传声器情况之下之等效偏压或面电荷密度)与极间距离的临界关系。即膜片在一定张力下,一定的极间距离肯定会对应一个临界的极化电压。在临界条件下,传声器的力参量值为最大,该值可在数值计算膜片静态偏转过程中确定。对于圆膜驻极体传声器(以 $A\sigma$ 表示传声器工作力参量,以 $A\sigma_c$ 表示临界力参量), $A\sigma_c$ 与介电层厚度之比 α 及介电层介电常数之比 β 有关,图 5 为数值计算结果^[7]。

在具体设计时,传声器工作力参量值应尽

可能接近 A_{σ_0} ，一般取 $A_{\sigma} = 0.7A_{\sigma_0}$ ，以保证传声器既可稳定工作，又可达到较佳灵敏度。

A_{σ} 的表达式如下^[7]

$$A_{\sigma} = a^2 D^2 \sigma_c / 2T \epsilon_0 d_0^3 \quad (5)$$

式中 T ——表示膜片张力。

四、主要参数设计

我们设计的主要指标，传声器共振频率为 8kHz。

由传声器系统第一共振频率与膜片张力关系

$$T = \left(\sigma_m a^2 \omega_{01}^2 - \frac{3}{4} \frac{\gamma \rho_0 a^2}{l} \right) / 6$$

代入已知各参数值后可求出 $T \approx 250 \text{N/m}$

我们使用的驻极体材料是氟₄₆ (Fs₄₆)，其介电常数为 2，因此 $\beta = 2$ ，当 $\alpha = D/d_0 = 1.5$ 时，可由图 5 查得 $A_{\sigma_0} = 13$ ，按上节最佳设计考虑，取 $A_{\sigma} = 0.7A_{\sigma_0} = 9.1$ ，然后求出电荷面密度 σ_c 。

由式 (5) 导出

$$\sigma_c = (2A_{\sigma} \epsilon_0 d^3 T / a^2 D^2)^{1/2}$$

把 A_{σ} 及 T 等数值代入上式后得到 $\sigma_c = 1.5 \times 10^{-4} \text{C/m}^2$ 。最后由式 (4) 算出传声器灵敏度 $S \approx 0.05 \text{V/Pa}$ 。实测传声器数据与以上设计相

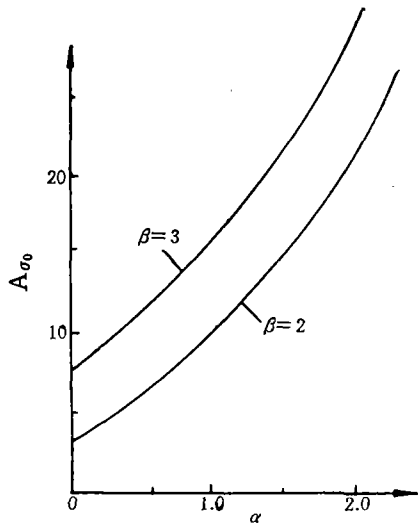


图 5 圆膜驻极体传声器 A_{σ_0} 与 α 及 β 的关系

应用声学

五、阻抗变换器

要求高输入阻抗、低输入电容，宽动态范围，宽的温、湿度范围，且要求体积小(整个装置能装在 $\phi 12 \text{mm}$ 的壳体内)。为此，我们采用 99 陶瓷作为印刷电路基板，并采用部分进口元件，在工艺上严格要求(如进行硅处理，严格清洗，洁净装配等)。所达到的指标如下

1. 输入阻抗大于 $10 \text{G}\Omega$ ；
2. 输入电容 0.8pF ；
3. 本底噪声小于 $4.5 \mu\text{V(A)}$ ；
4. 不失真输出畸变 $< 4\%$ 时， 45V (峰值)， 32V (有效值)；畸变 $< 1\%$ 时， $> 20 \text{V}$ (有效值)

六、技术关键及特点

1. 金属膜后驻极体测量传声器结构，这种结构是获得高稳定性驻极体传声器的关键。

2. 超小型膜片的“脱胎镀膜”工艺，使膜片与膜片环成为牢固的整体，从而保证了结构的紧凑性及机械稳定性。

3. 探索成功利用我国的 Fs₄₆ 原材料制备性能优异的驻极体材料的一整套喷涂—烧结—极化—老化工艺，特别是进一步发展了加网极化工艺，从而确保了 Fs₄₆ 驻极体材料的电荷均匀性及稳定性。

主要技术指标如下：

1. 开路灵敏度 50mV/Pa 或 -26dB ($0 \text{dB} \triangleq 1 \text{V/Pa}$)；
2. 频率响应 CHZ-13 型 $3 \text{Hz}-16000 \text{Hz}$ ，CHZ-4 型 $3 \text{Hz}-7000 \text{Hz}$ ；
3. 动态范围 $18 \text{dB}-146 \text{dB}$ ($0 \text{dB} \triangleq 20 \mu\text{Pa}$)， 140dB 时畸变小于 1% ；
4. 气压影响 250Hz ，气压降低 100mm 汞柱 (约 $133 \times 10^2 \text{Pa}$) 时，灵敏度变化小于 0.2dB ；
5. 温度影响 $-10^\circ\text{C}-+60^\circ\text{C}$ 温度系数小于 0.015dB/K ；
6. 湿度影响 40°C ， $94\% \text{RH}$ ， 48h ，传声器能立即工作，灵敏度无变化；
7. 振动影响 1m/s^2 下传声器轴向振动的等效噪声级小于 70dB ($0 \text{dB} \triangleq 20 \mu\text{Pa}$)；
8. 短期稳定性 5 天，间隔两小时，

不少于9次测量,灵敏度变化小于0.034dB;
9.长期稳定性 高温外推法,120℃ 1h,灵敏度变化小于0.2dB.

参 考 文 献

[1] Raymaned, R. W., and S. V. Djuric, *Sound and Vibration*, 8-5 (1974), 4.

[2] Madsen, H. S., *J. Acous. Soc. Am.*, 53-6 (1973) 1616.
[3] 宋燕君,陶中达,电声技术, 2(1980), 36.
[4] 陶中达,宋燕君,电声技术, 4(1979), 20.
[5] 陶中达,宋燕君,陈荣普,李秀珍,第二届全国声学学术会议论文摘要, G. 9, 1979年5月;北京.
[6] Taer, K., *Acustica*, 15 (1965), 256-263.
[7] Warren, J. E., J. F. Hamilton and A. M. Brzeinski *J. Acous. Soc. Am.*, 52 (1972), 711-722.

杭州电声厂消声室的声学设计

项端祈 赵一兴

(北京市建筑设计院 研究所)

1986年6月30日收到

杭州电声厂消声室主要用于鉴别电声设备的声学指标。消声室挂设尖劈后的尺寸为11.46m × 7.38m × 6.49m,有效容积549m³,总表面积414m²。

消声室建成后声学测定的结果表明,达到了预期的设计要求:

- 1.在强噪声和冲击振动的作用下,消声室内的噪声级小于17.5dBA和PNC-15噪声评价曲线;
 - 2.消声室的截止频率 $f \geq 50\text{Hz}$;
 - 3.消声室自由声场测试半径 $r = 2.5\text{m}$,在此范围内 $P-r$ 曲线滑顺,与标准自由场的偏差 $\Delta < \pm 1.0\text{dB}$;
 - 4.用于调节消声室及夹层内空气的通风系统,在运行时,不影响消声室内的测试工作。
- 经一年来的试用表明,效果良好。

本文概要地叙述电声厂消声室的声学设计,但侧重于介绍比同类消声室在声学和建筑处理方面有所改进的部份。

一、概 述

杭州电声厂消声室主要用于鉴别扬声器、音箱以及其它电声设备(如电视机、收录机等)的音质指标,因此,除音质设计外,还要求设置屏蔽结构。

考虑到消声室的测试对象,以及该消声室客观上将作为浙江省仅有的电声设备测试基地,由此而要求较高的音质指标:

- 1.本底噪声级 $< 20\text{dBA}$ 和PNC-15噪声评价曲线^[1];
- 2.截止频率 $f \geq 63\text{Hz}$;
- 3.自由声场测试半径 $r \geq 2.0\text{m}$,与标准自

由声场的偏差 $\Delta \leq \pm 1.0\text{dB}$ 。

消声室的建筑净尺寸为14.0m × 10.0m × 9.0m,挂设尖劈后的有效空间尺寸为11.46m × 7.38m × 6.49m,有效空间体积为549m³,表面积414m²。

消声室采用“屋中屋”的结构形式,以此确保围护结构具有足够的空气声隔声量,控制周围环境冲击振动所引起的固体传声;消声室内层结构配置在双层弹簧和橡胶组合的减振器上;为了增大自由声场的空间和尽可能降低截止频率,消声室内选用1150mm长的尖劈,后设150mm空腔,并使净空间有足够大的尺寸。

消声室的门通常由吸声(尖劈)和隔声两部分组合成一体,重量过大,使用不便,同时常由