

锥形)、球顶形扬声器(其振膜呈球缺形)、平板形扬声器(振膜为一平板)和带式扬声器(其振膜为金属薄带)。本章将对锥形扬声器作较详细的研究,其余各种扬声器,将在以后的章节里加以讨论。

§ 5-2 电动式扬声器的工作原理

使电动式扬声器的振膜发生振动的力,即为磁场对载流导体的作用力,称为电动式换能器的力效应,其大小由下式决定:

$$F = Bli, \quad (5-1)$$

式中 B 为磁隙中的磁感应密度(韦伯/米²); i 为流经音圈的电流(安培); l 为音圈导线的长度(米); F 为磁场对音圈的作用力(牛顿)。

然而,一旦音圈受力运动,就会切割磁隙中的磁力线,从而在音圈内产生感应电动势,这个效应称为电动式换能器的电效应,其感应电动势的大小为

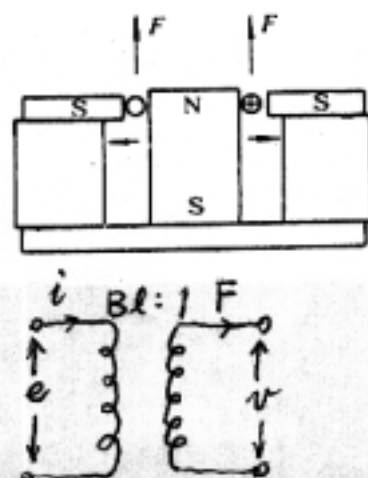
$$e = Blv, \quad (5-2)$$

式中 v 为音圈的振动速度(米/秒); e 为音圈中的感应电动势(伏特)。

电动式换能器的力效应和电效应总是同时存在,相伴而生的。以后我们将会看到,由于电效应的存在,将对扬声器的电阻抗特性产生极大的影响。

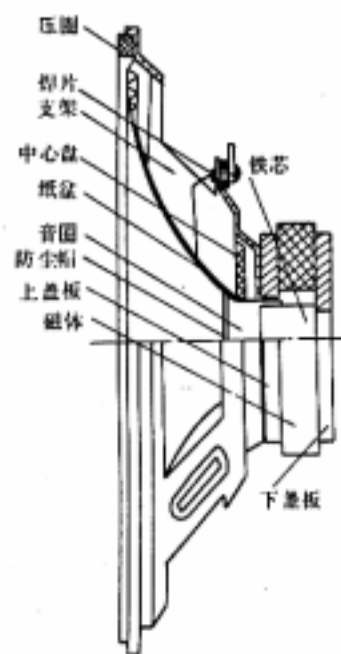
音圈在磁场中的受力情况,如图 5-1 所示,

图5-1 电动力的方向



$$\begin{cases} F = Bli \\ e = Blv \end{cases}$$

p.16



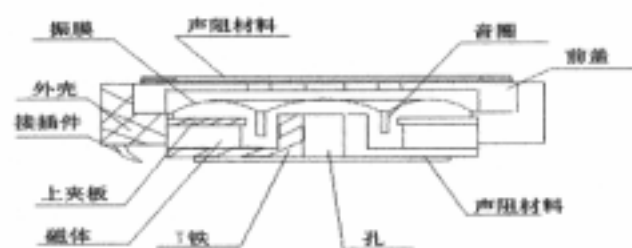
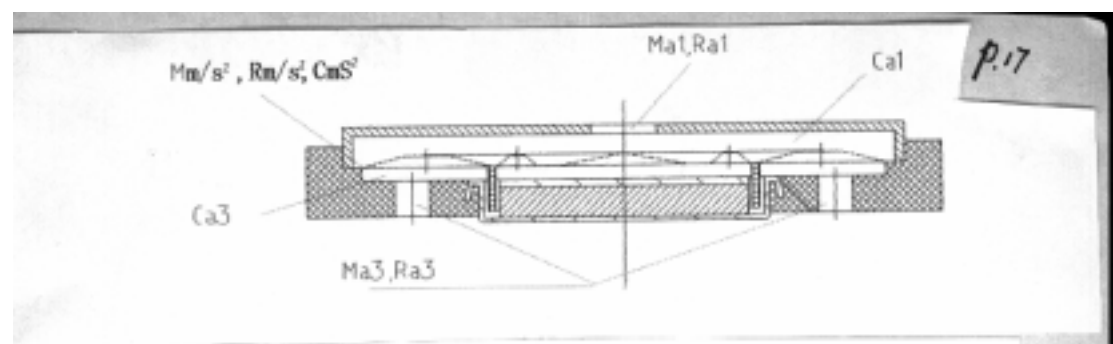
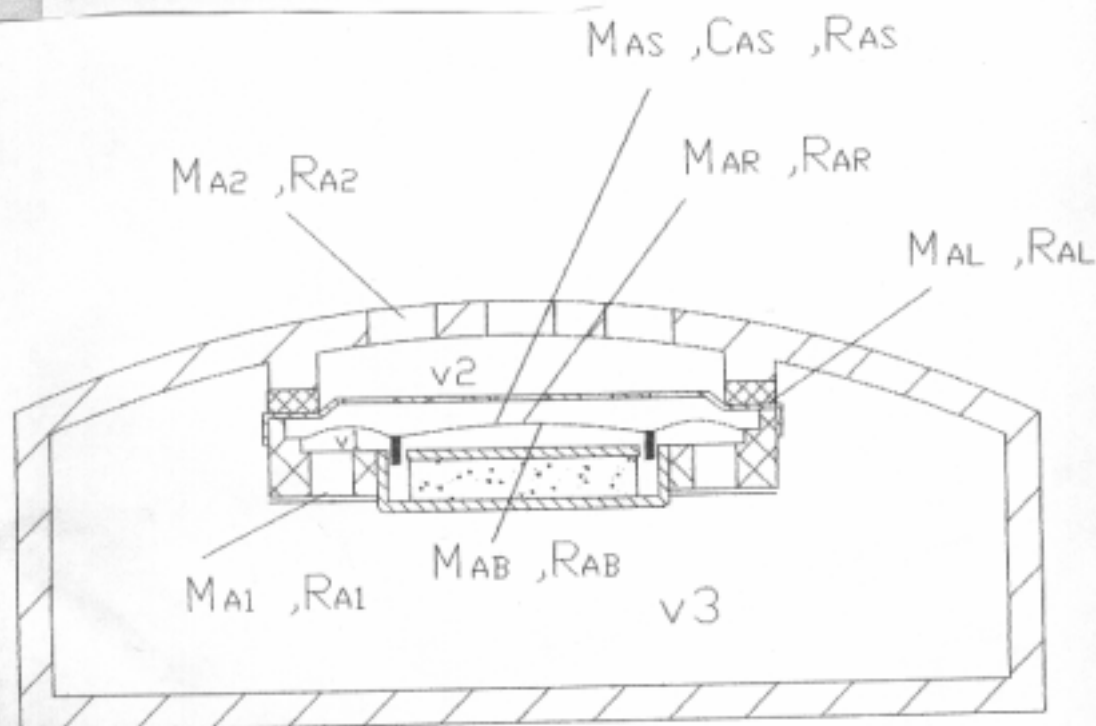


图1 振铃扬声器结构示意图

扬声器安装于机壳之后的结构见示意图 1:



1. 最大噪声功率 (噪声功率)

扬声器的额定最大噪声功率通常标志在扬声器的铭牌上。它是指《产品标准》对该扬声器在额定频率范围内, 用规定的噪声信号测试结果为基础所规定的功率值。扬声器 (通常不带障板) 应能承受在额定频率范围内馈以该功率值的模拟节目信号进行负荷试验100小时。

2. 额定阻抗

在额定扬声器信号源的输出功率时, 常常用一个纯电阻代替扬声器作为负载, 这个纯阻就称为扬声器的额定阻抗。额定阻抗是计算馈给扬声器的电功率的基准。

实际上, 扬声器的输入阻抗 (音圈两端的电压与流经音圈的电流之比) 是随频率而变的, 其模值随频率的变化曲线称为扬声器的阻抗曲线。厂家规定的额定阻抗, 即为阻抗曲线上第一个最大值后面的最小阻抗模值。

3. 效 率

扬声器的效率是表示扬声器电声能转换能力的一个参数。扬声器在某一频带内的效率, 是该扬声器在该频带内所辐射的声功率与馈给扬声器的电功率之比。若以 P_A 表示扬声器在一定频带内所辐射的声功率, P_E 表示馈给扬声器的电功率, 则效率可表示为

$$\eta = \frac{P_A}{P_E} \times 100\%.$$

实际上, 效率表明了输入扬声器的电功率中有多大一部分转换成声功率。对于直接辐射式扬声器, 电声效率极低, 通常只有百分之几, 或者更低。

4. 频率响应

扬声器的频率响应,是指馈给扬声器的电压为恒定时,扬声器在参考轴*上所产生的直达声压随频率变化的特性。通常用曲线表示,称为频率响应曲线。它反映了扬声器对不同频率的声波的辐射能力,是扬声器十分重要的参数。扬声器在任何输入下,都可绘制频率响应曲线。但为了同各种扬声器进行比较,通常规定馈给扬声器的功率为额定噪声功率的十分之一,除非另有说明。

5. 有效频率范围

在频响曲线上灵敏度最大的区域内(对于高Q值扬声器,谐振频率处的峰值不作为灵敏度最大区域),取一个倍频程带宽,并在此频带内馈给扬声器以规定电压值的粉红噪声信号时,在参考轴上指定距离处测得该频带内的声压级,进而从此声压级下降10dB,作一条平行于频率轴的直线,与频响曲线的高低两端分别相交,则此两交点所对应的频率 f_2 和 f_1 之间的频率范围称为有效频率范围(不计小于 $\frac{1}{9}$ Oct的各点)。

对于电动式扬声器,通常把谐振频率看作是有效频率范围的低限频率。

*参考轴是指通过参考点垂直于参考面的直线。所谓参考面是用来定义参考点的位置和参考轴方向的面,通常平行于辐射面,或盆口平面。而参考点是参考面上的一点。不同的扬声器规定了不同的参考点。对于平板扬声器,即为其振膜的几何中心;对于锥形扬声器,即为其盆口平面的几何中心;对于球形扬声器,则为球轴的顶点。

6. 特性灵敏度 (级)

在扬声器的有效频率范围内, 馈给扬声器以相当于在额定阻抗上消耗 1 瓦电功率的粉红噪声电压时, 在参考轴上离参考点 1 米处所产生的声压。它可表为

$$L_p = 20 \lg \frac{p_r}{p_0} - 10 \lg \frac{W}{W_0} + 20 \lg \frac{r}{r_0} \quad (5-12)$$

式中 L_p 为换算到 1 米 1 瓦时的声压级, dB; p_r 为在 r 处测得的声压, 帕; p_0 为参考声压, 20 微帕; W 为测试时馈给扬声器的功率, 瓦; W_0 为参考功率, 1 瓦; r 为测试距离, 米; r_0 为参考距离, 1 米。

扬声器灵敏度的高低, 与扬声器振动系统的性能及气隙中磁感密度 B 的大小有关。

7. 指向特性

扬声器的指向特性, 即是扬声器所辐射的声压在空间的分布状况。

低频时, 扬声器辐射面的线度, 要比扬声器所辐射的声波波长小得多, 扬声器可看作一个点源, 其辐射是无指向性的。但随着频率的增加, 声波波长越来越短, 当波长与辐射面的线度可以比较或小于辐射面的线度时, 扬声器的辐射将出现明显的指向性。

表示扬声器辐射指向性的方法有二:

①指向性频率响应。即在偏离参考轴指定范围内的不同角度上所测得的一组频响曲线。

②指向性图形。即用转台在不同频率上测出以极坐标表示的指向性图形, 如图 5-12 所示。

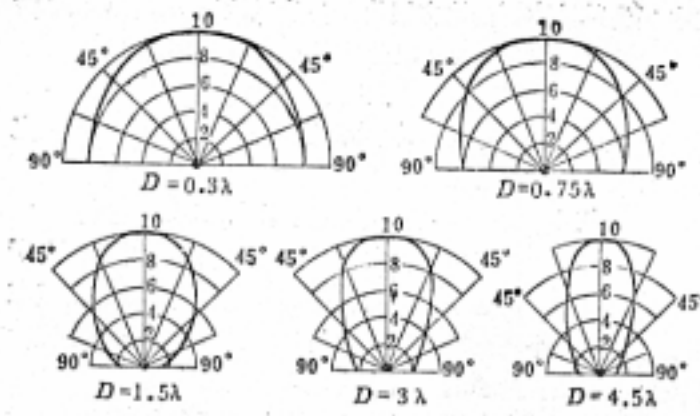


图5-12 扬声器的指向性图形

扬声器辐射指向性的出现，是辐射面不同部位所辐射的声波互相干涉的结果。振膜越大、频率越高，其指向性就越强。此外，扬声器的指向性还与振膜的形状，纸盆顶角的大小等因素有关。

8. 非线性失真

扬声器重放时，出现电信号中所没有的频率成分的那种失真，称为非线性失真。谐波失真、互调失真等都是非线性失真。

(1) 谐波失真

当扬声器输入某一频率的正弦信号时，扬声器输出的声信号中，除了原输入的信号（基波）外，同时出现二次、三次谐波等，这种现象称为谐波失真。这种失真通常用谐波系数 K 来加以定量描述，且定义

$$K = \sqrt{\frac{p_2^2 + p_3^2 + \dots + p_n^2}{p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + \dots + p_n^2}} \times 100\% \quad (5-13)$$

式中 p_1 为基波声压的均方根值; p_2 为二次谐波声压的均方根值; 依次类推; p_n 为 n 次谐波声压的均方根值。

产生谐波失真的原因, 主要有下列方面:

①在大振幅时(低频时的情况, 就是如此), 由折环及定心片所组成的支撑系统不再符合线性的胡克定律。

②由于工作间隙内磁感应密度沿轴向的不均匀性。

③中高频的谐波失真, 主要是音圈内铁心的非线性所致。因为扬声器的音圈可以看作是具有铁心的线圈, 所以在线圈上加上一个完全没有失真的信号时, 流过音圈的电流由于受铁心非线性的影响, 就变为包含有谐波失真的电流了。而音圈的运动是和电流成正比的, 因此, 这个失真就如实地被扬声器重放出来。在低频区, 谐波失真主要是支撑系统的非线性和磁感应密度 B 沿轴向的不均匀性所引起, 而由铁心所引起的谐波失真可以忽略。但是到了中高频段, 音圈的振幅变小, 而由铁心非线性所引起的失真就变得明显了。

(2) 互调失真

当扬声器同时重放使音圈作大振幅振动的低频信号 f_L 和音圈作小振幅振动的高频信号 f_H 时, 重放声中除了有 f_L 、 f_H 及其谐波成分外, 还会出现 $(f_H \pm n f_L)$ 的新的频率成分, 其中 $n = 1, 2, 3 \dots$ 。这种失真称为互调失真。

如前所述, 由于气隙内磁感应密度 B 沿轴向的不均匀性, 可导致非线性失真。而 B 沿轴向的不均匀性, 表现为工作气隙的边缘处磁场减小。当音圈从气隙的中心向边缘的一侧或另一侧移动时, B 将减小, 从而机电转换系数 (Bl) 也随之减小。因此, 低频信号周期地改变着机电转换系数 (Bl) 的值, 而此周期又显著地大于高频信号的周期, 从而高频信号的振幅受到低频信号的调制而出现失真。

(3) 分谐波失真

这种失真这是由于音圈受较大的电动力推动时，纸盆的母线因受纵向力的作用而产生弯曲所致。这种失真产生的物理过程前面已经讨论过了，这里不再赘述。

9. 瞬态失真

这是由于扬声器的振动系统跟不上快速变化着的电信号而引起的输出波形的失真。这种失真与频响曲线的平滑程度有关。在振膜的每个共振点（相当于频响曲线的峰谷处），这种失真就更为严重。图5-13中所示的是这种输出波形失真的一种典型情况。馈给扬声器一个包含8~16个正弦波列的脉冲信号，如图5-13(a)所示。而扬声器的输出声压波形如图5-13(b)所示。对比电信号和声信号的波形，可以看出这样的特点，声脉冲具有逐渐上升的前沿，并有逐渐衰减的拖尾。这说明扬声器的振膜并非立即达到稳态振动的，在电脉冲消失之后，振膜也不可能立刻停止振动，而是有一个逐渐衰减的过程。显然，这种现象的存在，扬声器就不可能逼真地重放急促变化着的信号，如打击乐器的敲击声。

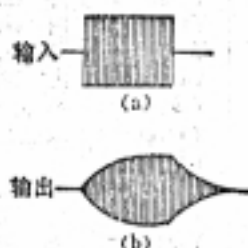


图5-13 扬声器的瞬态失真

为了改善扬声器的瞬态失真，通常把扬声器的频响扩展至超声频段，以改善其前沿特性。如日本松下公司的SB-10型扬声器系统的高频响应可达125kHz。而拖尾时间的缩短则主要靠控制扬声器的阻尼。

手机机壳声结构对声性能的影响

(参考资料之二)

《振铃扬声器及机壳声结构的分析》 (5 页)

《手机机壳对受话器频率特性的影响》 (6 页)

深圳市美欧电子股份有限公司

南京电声技术研发中心

振铃扬声器及机壳声结构的分析

一、振铃扬声器的结构

该扬声器为外磁式动圈扬声器，振动系统与磁路系统由注塑外壳连为一体。外径约 16mm。振膜前有开孔的前盖，上面贴有声阻材料（似为无纺布），布上并粘有一层薄垫圈；T 铁极芯中心开有一通孔，经后盖板与大气相通，孔口贴有声阻材料（丝绢类）。其结构示意图见图 1。

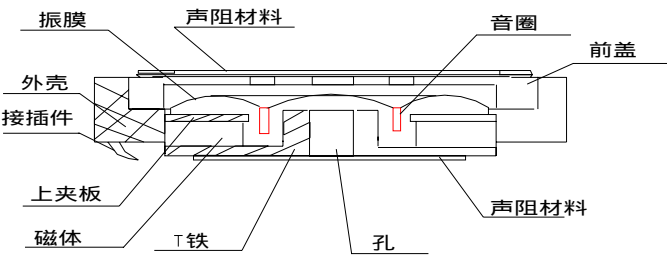


图1 振铃扬声器结构示意图

二、机壳声结构的描述

当扬声器放入机壳时，扬声器前盖将与一个极薄的腔体 V_1 相耦合，从前盖孔出来的声波，首先进入该腔体，再通过一个狭缝 M_{A1} （约 8X1mm）进入另一个体积较大的腔体 V_2 ，然后经机壳出声孔 M_{A2} 与大气相通。

振膜背面所辐射的声波，经极芯中心的孔及后盖板上的声阻材料，进入机壳中一个较大的腔体 V （相当于与大气相通）。
振膜前面的等效声结构，见图 2 所示。

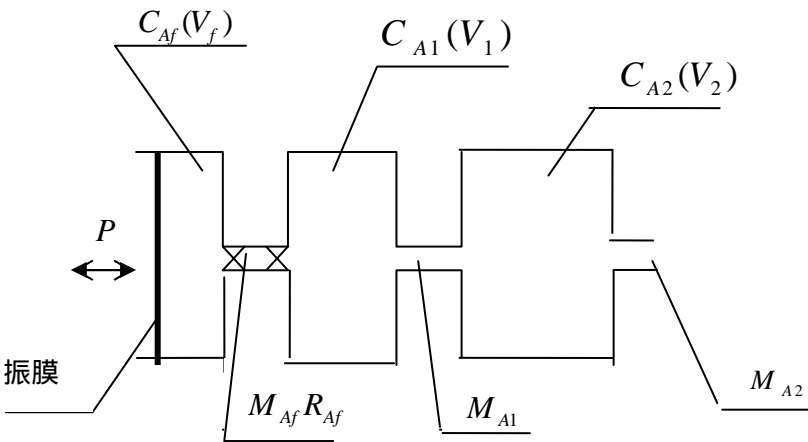


图 2 振膜前的等效声结构

三、扬声器安装至机壳后的等效声学线路

扬声器安装至机壳后，其等效声学线路如图 3 所示。

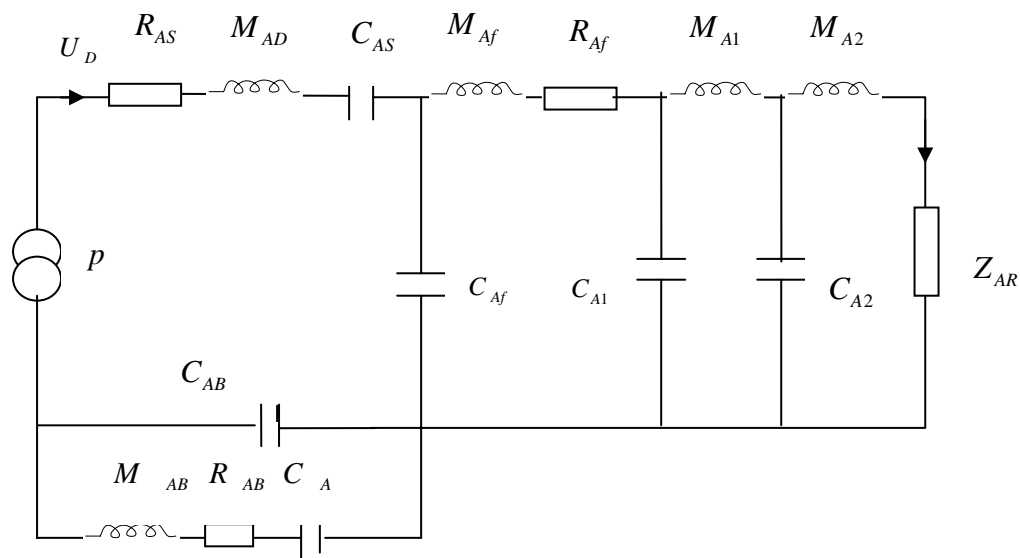


图 3 扬声器安装至机壳后的等效声学线路

图中：

p 振膜的驱动压力 (P_a), 且

$$p = \frac{B\lambda i}{S_D}$$

B 为磁感应强度 (T)

λ 为音圈导线的有效长度 (M);

i 为音圈中的信号电流 (A);

S_D 为振膜的等效面积 (M^2);

U_D 振膜的容积速度 (M^3/s); 且

$$U_D = v_c \cdot S_D$$

v_c 为音圈的振动速度 (M/s);

R_{AS} 振膜支撑系统的等效声阻 ($N \cdot s/M^5$);

M_{AD} 振膜的等效声质量 (Kg/M^4);

C_{AS} 振膜支撑系统的等效声顺 ($M^4 s^2/Kg$);

C_{Af} 振膜与前盖之间腔体的等效声顺 ($M^4 s^2 / Kg$); 且

$$C_{Af} = \frac{V_f}{\rho c^2}$$

M_{Af} 前盖孔的等效声质量 (Kg / M^4); 且

$$M_{Af} = \frac{\rho \lambda_f}{S_f}$$

其中 ρ 为空气密度 (Kg / M^3);

λ_f 为前盖孔的等效长度 (M);

S_f 为前盖孔的等效面积 (M^2);

若开孔数为 n 个, 则

$$S_f = \sum_{i=1}^n S_i$$

S_i 为第 i 个孔的面积。

R_{Af} 为前盖孔声阻材料的等效声阻 ($N \bullet s / M^5$);

C_{A1} 为前盖与机壳之间腔体的等效声顺 ($M^4 s^2 / Kg$);

M_{A1} 狭缝的等效声质量 (Kg / M^4);

C_{A2} 狭缝与机壳出声孔之间的较大腔体的等效声顺 ($M^4 s^2 / Kg$);

且
$$C_{A2} = \frac{V_2}{\rho c^2}$$

M_{A2} 机壳出声孔的等效声质量 (Kg / M^4); 且

$$M_{A2} = \frac{\rho \lambda_2}{S_2}$$

其中 $\rho = 1.20 Kg / M^3$ 为空气密度;

λ_2 为孔之等效长度 (M);

S_2 为孔之等效面积 (M^2);

Z_{AR} 出声孔外端的辐射声阻抗 ($N \bullet s/M^5$); 且

$$Z_{AR} = R_{AR} + j\omega M_{AR}$$

R_{AR} 为辐射声阻 ; M_{AR} 为同振质量 ;

C_{AB} 为振膜后腔的等效声顺 ($M^4 s^2/Kg$);

M_{AB} T 铁中心开孔的等效声质量 (Kg/M^4);

R_{AB} T 铁中心开口处声阻材料的声阻 ($N \bullet s/M^5$);

C_A T 铁开口外 , 机壳腔体的等效声顺 ; 通常因腔体体积较大 , 抗值甚小 , 可视为短路。

考虑到 ;

C_{Af} 、 C_{A1} 、 C_{AB} 的值较小 , 频率不太高时 , 抗值甚大 , 可视作开路 ;

M_{Af} 、 M_{A1} 、 M_{AB} 的值较小 , 频率不太高时 , 抗值甚小 , 可视作短路 ;

C_A 抗值甚小 , 可视为短路。

当 $ka \ll 1$ 时 $Z_{AR} \approx j\omega M_{AR}$ 。 $M_{AR} = 0.1952 \rho/a$

其中 ; $\rho = 1.20 Kg/M^3$ 为空气密度 ;

a 为出声孔半径 ;

则等效声学线路可简化为图 4。

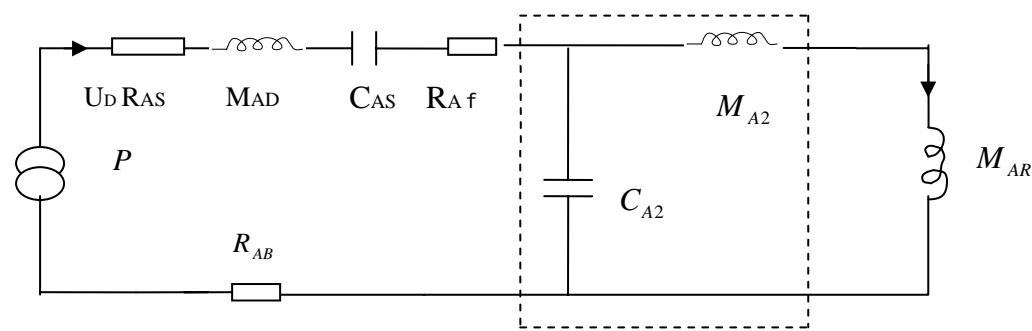


图 4 简化的声学线路

四、等效线路的分析

由图 4 可知：

机壳声结构的作用，一般为声学滤波器（低通），如图 4 虚线框内所示。

可据扬声器的频响特性，适当设计 $M_{A2}C_{A2}$ 之值，使扬声器所发之声通过声结构后，高频有所衰减，从而低频相对丰满，可使听感柔和。

若为了提高振铃的输出声级，也可刻意设计腔体 V_2 （即 C_{A2} ）及出声

孔的几何尺寸（即 M_{A2} ），使其在某个频率 $f_R = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{(M_{A2} + M_{AR})C_{A2}}}$ 附近

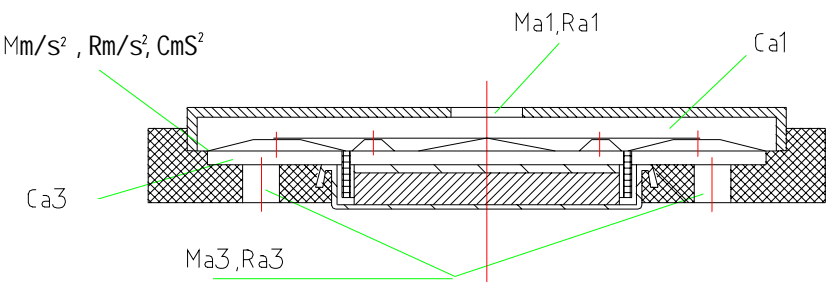
发生谐振，以期提高声输出，但失真可能增大。

五、结论

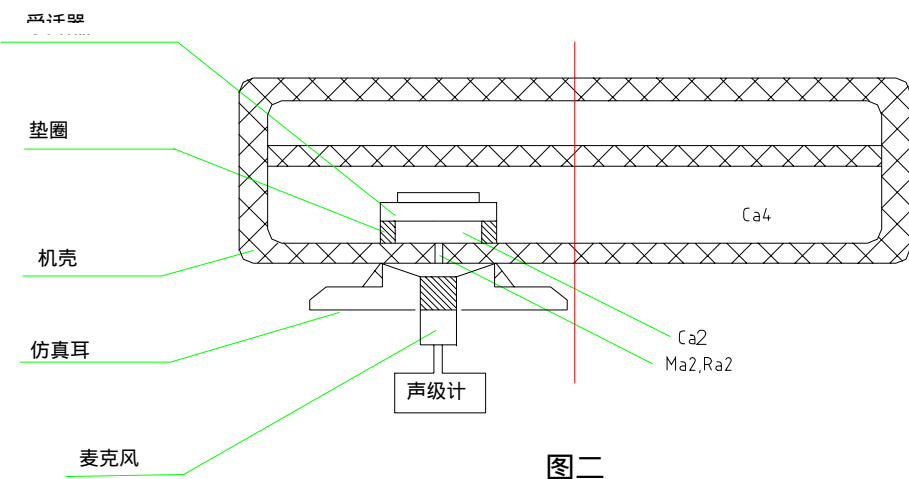
机壳声结构（腔和孔）的设计（主要是 M_{A2} 、 C_{A2} 的设计），应与扬声器的频响特性相配合，以期达到最佳效果。不同的扬声器，声结构的几何尺寸是不同的。

手机机壳对受话器频率特性的影响

根据受话器的结构（图一）及其在手机机壳中的安装方式（图二）

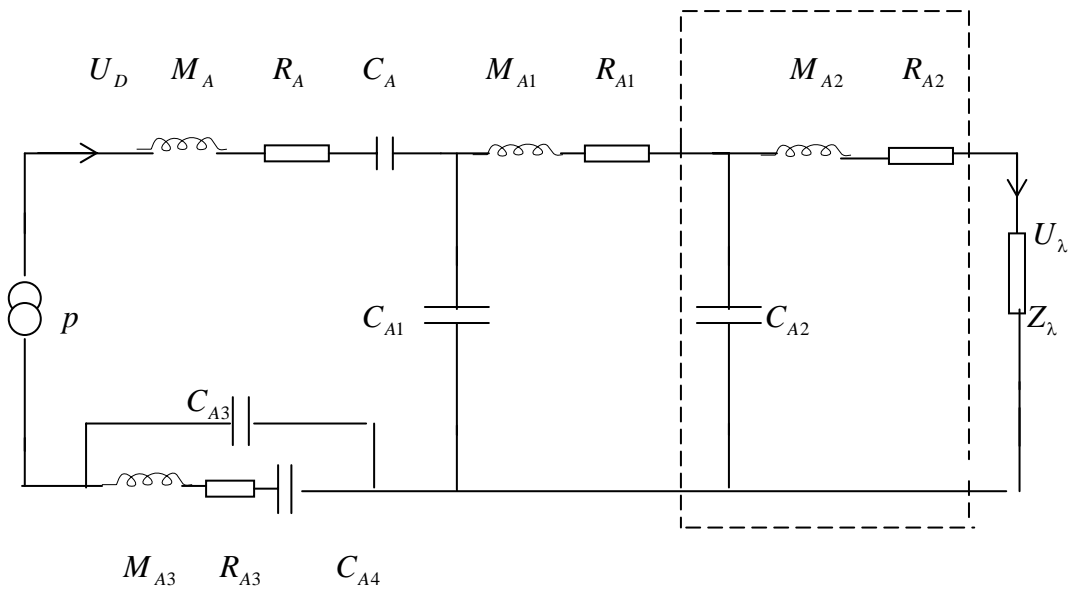


图一



图二

即可画出受话器安装至机壳后的等效声学线路，如图三所示。



图三 受话器安装至机壳后的等效声学线路

图中；

$$p = \frac{F}{S} ; \quad p \quad \text{为振膜所受之压强} \quad (N/m^2) ;$$

$$F = B\lambda i \quad \text{为振膜所受之推动力} \quad (\text{Newton}) ;$$

$$S \quad \text{为振膜之等效面积} \quad (m^2) ;$$

$$M_A = \frac{M_M}{S^2} ; \quad M_A \quad \text{为振动系统之等效声质量} \quad (K_g/m^4) ;$$

$$M_M \quad \text{为等效质量} \quad (K_g) ;$$

$$C_A = C_M S^2 ; \quad C_A \quad \text{为振动系统之等效声顺} \quad (m^5/N) ;$$

$$C_M \quad \text{为等效力顺} \quad (m/\text{Newton}) ;$$

$$R_A = \frac{R_M}{S^2} ; \quad R_A \quad \text{为振动系统之等效声阻} \quad (N \bullet s/m^5) ;$$

$$R_M \quad \text{为等效力阻} \quad (N \bullet s/m) ;$$

$$C_{A1} \quad \text{为振膜前腔体的声顺} \quad (m^5/N) ; \text{且}$$

$$C_{A1} = \frac{V_1}{\rho c^2}$$

$$V_1 \quad \text{为前腔的体积} \quad (m^3) ;$$

$$\rho \quad \text{为空气密度} \quad (K_g/m^3) ;$$

$$c \quad \text{为声在空气中的传播速度} \quad (m/s) ;$$

$$M_{A1} \quad \text{为受话器出声孔的声质量} \quad (K_g/m^4) ; \text{且}$$

$$M_{A1} = \frac{\rho \lambda_1}{S_1}$$

$$\lambda_1 \quad \text{为出声孔等效长度} \quad (m) ;$$

$$S_1 \quad \text{为出声孔等效面积} \quad (m^2) ;$$

$$R_{A1} \quad \text{为受话器出声孔中因空气粘滞所引起的声阻} \quad (N \bullet S/m^5) ;$$

若无阻尼材料，此元件值极小，常可忽略；

$$C_{A2} \quad \text{为垫圈与机壳间所形成的空腔的声顺} \quad (m^5/N) ;$$

且
$$C_{A2} = \frac{V_2}{\rho c^2}$$

V_2 为该空腔的体积 (m^3) ;

M_{A2} 为机壳出声孔的声质量 (K_g/m^4) ; 且

$$M_{A2} = \frac{\rho \lambda_2}{S_2}$$

λ_2 为机壳出声孔的等效长度 (m) ;

S_2 为机壳出声孔的等效面积 (m^2) ;

R_{A2} 为机壳出声孔中因空气粘滞所引起的声阻 ($N \bullet S/m^5$) ;

若不另加阻尼材料, 此元件值极小, 常可忽略;

Z_λ 为仿真耳的等效声阻抗;

C_{A3} 为受话器振膜背后空腔的声顺 (m^5/N) ; 且

$$C_{A3} = \frac{V_3}{\rho c^2}$$

V_3 为该空腔的体积 (m^3) ;

M_{A3} 为振膜背后所开孔的声质量 (K_g/m^4) ; 且

$$M_{A3} = \frac{\rho \lambda_3}{S_3}$$

λ_3 为开孔的等效长度 (m) ;

S_3 为开孔之等效面积 (m^2) ;

若开孔数为 n 个, 则

$$S_3 = \sum_{i=1}^n S_i$$

S_i 为第 i 个孔的面积。

R_{A3} 为开孔之声阻 ($N \bullet S/m^5$) ;

通常开孔处均敷有阻尼材料;

C_{A4} 为受话器背面与机壳所形成的腔体的声顺 (m^5/N) ;
且

$$C_{A4} = \frac{V_4}{\rho c^2}$$

V_4 为该腔体之体积 (m^3) ;

一、 振膜背面声学线路的分析

振膜背面声学线路包括 $C_{A3}, M_{A3}, R_{A3}, C_{A4}$ 四个声学元件 。其中 ;

$$(i) \quad C_{A3} = \frac{V_3}{\rho c^2} ,$$

由于 V_3 通常较小 , 故 $\frac{1}{j\omega C_{A3}}$ 较大 , 频率不太高时 , 此元件通常可视为开路 ;

$$(ii) \quad M_{A3} = \frac{\rho \lambda_3}{S_3} ,$$

由于 $S_3 = \sum_{i=1}^n S_i$ 其值较大 , 故 M_{A3} 之值较小 , 频率不太高时 , $j\omega M_{A3}$ 较小。
此元件可忽略。(视为短路) ;

$$(iii) \quad C_{A4} = \frac{V_4}{\rho c^2} ,$$

建议用户不要将 V_4 做得太小 ; 则 C_{A4} 较大 , $\frac{1}{j\omega C_{A4}}$ 较小 , 故元件 C_{A4} 亦可视为短路。

(iv) R_{A3} 通常用加阻尼材料 (绢、无纺布等) 来获得。所以 , 振膜背面的声学线路主要起阻尼作用。因阻尼力与振速 (或容积速度) 成正比 , 即

$$f_R = R_M v$$

当有谐振出现时， v （或 U ）达极大，响应出现峰值。此时 f_R 亦大，故可将峰“压平”。

二、受话器前面与机壳的配合

受话器装入机壳后，受话器前面与机壳形成一个声学结构，其等效声学线路如

图三中虚线框内所示。此声学结构，实际上是一个声学滤波器（低通）； M_{A2}, C_{A2} 的值越大，则对高频的衰减也越大，开始衰减的频率（截止频率）也越低。所以 M_{A2}, C_{A2} 值的决定，必须与受话器的频响特性相配合（见第5页附图）。

三、结论

（1）、因 $C_{A4} = \frac{V_4}{\rho c^2}$ ；所以， V_4 宜大不宜小。至少不小于现有的值，大则不限。

（2）、 M_{A2}, C_{A2} 值的大小，直接决定着高频响应的值，不同频率特性的受话器，应配以不同的 M_{A2}, C_{A2} 的值，且一经调定，则不宜改动。应建议用户，按我们提供的数据（ V_2 的大小、出声孔的直径、长度和个数）制作，以达最佳配合。

贴双层 GASKET, 发音孔为 1- $\phi 1\text{mm}$ 的小孔, 未贴防尘布
 X:992.97Hz Y:104.62dB ZA:Live Curve TSR fund.

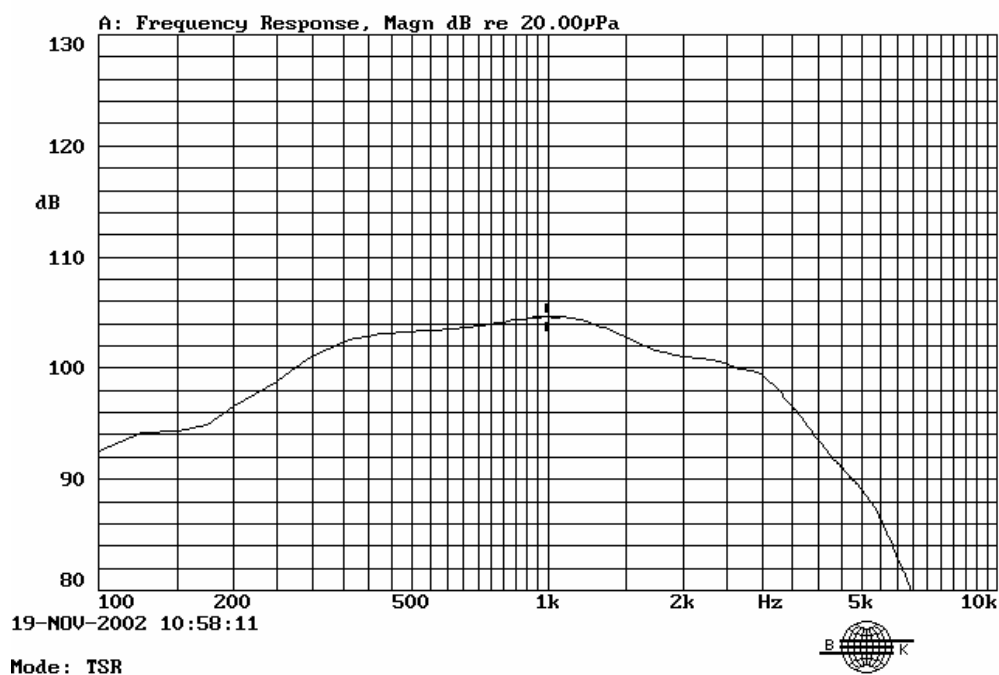
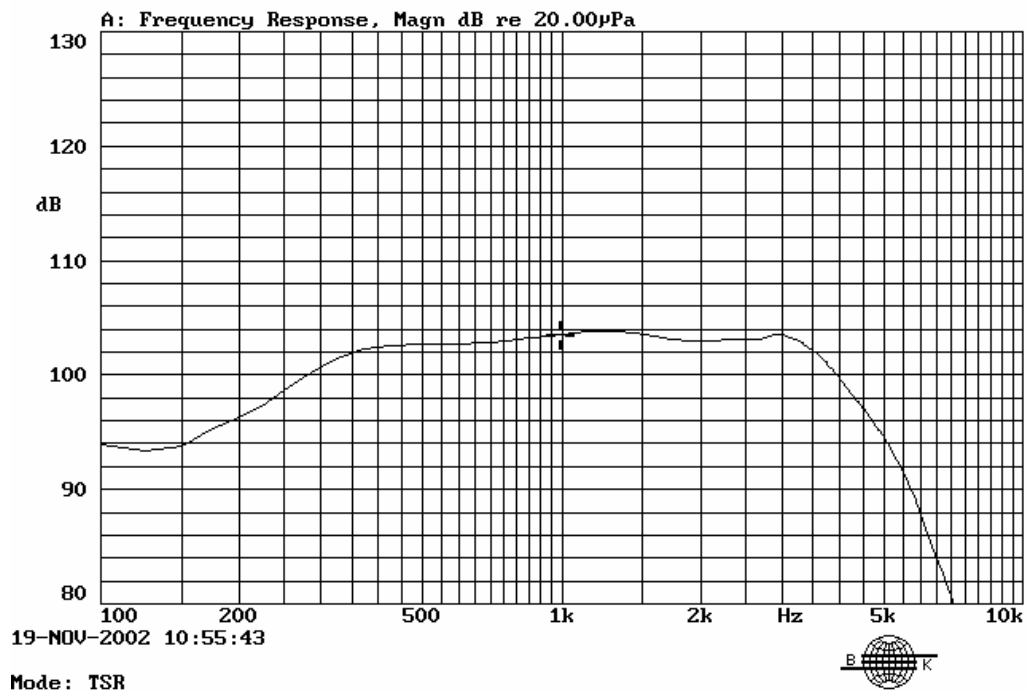


图 (a)

贴双层 GASKET, 发音孔为 2- $\phi 1\text{mm}$ 的小孔, 未贴防尘布
 X:992.97Hz Y:103.55dB ZA:Live Curve TSR fund.



图(a ')

电声学基础知识

(参考资料之一)

《音频声学简介》 (5 页)

《电声学名词及物理意义》 (4 页)

深圳市美欧电子股份有限公司

南京电声技术研发中心

《音频声学简介》

§ 1 声波的概念

所谓声波，实质上就是振动在介质（如空气、水等）中的传播。我们研究在一根无限长均匀管的一端，安装一个平面活塞，此活塞在一个周期力的作用下来回运动的情况。（图 1 - 1）

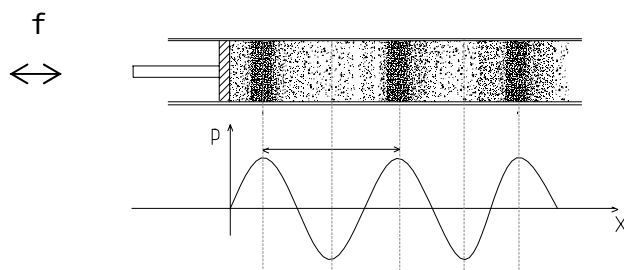


图1-1 声波的形成

当活塞来回运动时，将带动管中紧贴活塞的空气层质点产生运动。当活塞向右运动时，使空气层质点产生压缩，空气层的密度增加，压强增大，使空气层处于“稠密”状态；活塞向左运动时，则空气层质点膨胀，空气层的密度将减小，压强亦将减小，使空气层处于“稀疏”状态。活塞不断地来回运动，将使空气层交替地产生疏密的变化。由于空气分子之间的相互作用，这种交替的疏密状态，将由近及远地沿管子向右传播。这种疏密状态的传播，就形成了声波。

§ 2 描述声波的物理量

一、声压

大气静止时的压强即为大气压强。当有声波存在时，局部空气产生稠密或稀疏。在稠密的地方，压强将增加，在稀疏的地方压强将减小；这样，就在原有的大气压上又附加了一个压强的起伏。这个压强的起伏是由于声波的作用而引起的，所以称它为声压；用 p 表示。声压的大小与物体（如前述的活塞）的振动状态有关；物体振动的振幅愈大、则压强的起伏也愈大，声压也就愈大。然而，声压与大气压强相比，是及其微弱的。

存在声压的空间，称为声场。声场中某一瞬时的声压值，称为瞬时声压 $p(t)$ 。在一定的时间间隔中最大的瞬时声压值，称为峰值声压。如果，声压随时间的变化是按简谐规律的，则峰值声压就是声压的振幅。瞬时声压 $p(t)$ 对时间取方均根值，即

$$p_e = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p(t)^2 dt} \quad [1]$$

称为声压的有效值或有效声压。 T 为取平均的时间间隔。它可以是一个周期或比周期大得多的时间间隔。一般我们用电子仪器所测得的声压值，就是声压的有效值；而人们习惯上所指的声压值，也是声压的有效值。

声压的大小，表示了声波的强弱。目前国际上采用帕（ P_a ）作为声压的单位。以往也用微巴作为单位，它们的换算关系为；

$$1 \text{ 帕} = 1 \text{ 牛顿/米}^2 \quad (\text{MKS 制})$$

$$1 \text{ 微巴} = 1 \text{ 达因/厘米}^2 \quad (\text{CGS 制})$$

$$1 \text{ 微巴} = 0.1 \text{ 帕}$$

$$1 \text{ 大气压} = 1.0325 \times 10^5 P_a \quad (\text{常温下})$$

为了对声压的大小数值，有一个感性的了解，在表一中列出了几种声源所发出的声音的声压的大小。

表一

声源名称	声压（ P_a ）	声压级（dB）
正常人耳能听到的最弱声音	2×10^{-5}	0
郊区静夜	2×10^{-4}	20
耳语	2×10^{-3}	40
相隔 1 米处讲话	2×10^{-2}	60
高声讲话	0.2	80
织布车间	2	100
柴油机	20	120
喷气机起飞	200	140
导弹发射	2000	160
核爆炸	20000	180

由表 1 可知，自然界可能出现的各种声源中，其声压的大小是十分悬殊的，大小之间可以相差上亿倍。

二、频率

声源（如上述的活塞）每秒振动的次数称为声波的频率，并用字母 f 表示，其单位为赫兹（Hz）1/秒。虽然在自然界中能产生单频率的声源很少，大多数声源的振动是一个很复杂的过程，产生的大多为复合音。但是，我们可以用频谱分析的方法，把一个复合音分解为一系列幅值不同的单频声的组合。因此研究单频声具有基础性的意义，而频率则是描述单频声的一个重要物理量。

频率的倒数则称为周期。单位为秒。

人耳能听得见的声波的频率范围为 $20 \sim 20000 \text{ Hz}$ ，称为可闻声或音频声。低于 20 Hz 的声波，称为次声。虽然人耳听不到，但可用仪器接收到，它在研究热带风暴、地震及核爆炸等方面有广泛的应用。高于 20000 Hz 的声波称为超声，它在无损探伤、切割、诊断、水下探测等方面，均有广泛的应用。当频率再提高至波长可与物质结构的线度相比较时，就可以用声波来研究物质结构，这样频率的声波则称为特超声。

在音响和通信中所涉及的声波，就是人耳能感知的音频声。而研究音频声的

拾取、重放、传播及传播过程中的各种物理现象的科学，就称为音频声学。

三、声速

声波在介质中传播的速度称为声速，单位为米/秒。声速的大小，与声波藉以传播的介质有关。不同的介质声速不同。固体介质、液体介质和气体介质三者之中，固体介质中的声速最大，液体次之，气体最小。即使在空气介质中，声速还与空气的压强和温度有关。在理论上，有

$$c = \sqrt{\frac{\gamma P_0}{\rho}} \quad [2]$$

式中； c 为声波在空气中的传播速度；

γ 为空气的比热比，且 $\gamma = 1.402$ ；

P_0 为大气静压强，且 $P_0 = 1.013 \times 10^5 P_a$ (0)；

ρ 为空气密度，且 $\rho = 1.293 \text{ Kg/m}^3$ (0)；

因此，可算得 $c(0^\circ\text{C}) = 331.6 \text{ m/s}$

上式表示的是温度为 0，空气中的声速。如果温度改变了，则声速的值也就不同。对于空气，可按下式算得不同温度下的声速：

$$c(t^\circ\text{C}) = 331.6 + 0.6t \quad \text{m/s} \quad [3]$$

由上式即可算得常温 (20) 下空气中的声速为

$$c(20^\circ\text{C}) = 344 \quad \text{m/s} \quad [4]$$

这是一个值得牢记的数值，因为不少计算，需用到这个数据。

四、波长

声波在传播过程中相邻的同相位的两点之间（如相邻的两稠密或两稀疏之间）的距离称为波长，用字母 λ 表示，单位为米。波长 λ 与频率 f 及声速 c 之间，有如下关系：

$$c = \lambda \cdot f \quad [5]$$

在空气中，不同频率的声波，具有相同的传播速度；因此，[5] 式的关系对于空气中传播的任何频率的声波，都是正确的。例如在常温常压下，1000Hz 的声波波长为 0.344 米；100Hz 的声波波长为 3.44 米等等。

五、声强

前已指出，声波实质上是振动在介质中的传播。声振动包括两个方面；一方面使介质质点在平衡位置附近来回振动；另一方面又使介质产生疏密的过程。前者使介质具有振动动能，后者使介质具有形变势能；而此两者的和，就是介质所具有的声能量。因此，声波的传播也可以说是声能量的传递。

在单位时间内，通过垂直于声传播方向的单位面积的平均能量，称为声强，用字母 I 表示，单位为瓦/米²。

应当指出，声强是一个有大小和方向的物理量，即是一个矢量，它表示着声音传播的方向和强度。

对于平面波和球面波，在声波的传播方向上，声强与声压的关系为；

$$I = \frac{p^2}{\rho c} \quad [6]$$

其中； ρ 为大气密度；且 $\rho = 1.21 \text{ Kg/m}^3$, (常温常压下)

c 为声波空气中的传播速度；且 $c = 344 \text{ m/s}$ (常温常压下)

六、声功率

声源在单位时间内所辐射的总的声能量，称为声源辐射功率，简称声功率。通常用字母 W 表示，单位为瓦 (W)。

如果一个点声源，在自由空间辐射声波（此情况下辐射无指向性），则在与声源等距离的球面上，任何一点的声强，都是相同的；且与声源声功率之间，有如下关系：

$$W = I \cdot 4\pi r^2 \quad [7]$$

式中： W 为声源的声功率 (W)；
 I 为声强 (W/m^2)；
 r 为离声源的距离 (m)；

输出声功率的大小，是扬声器的重要指标之一，因为它可以决定扬声器的电声效率。

§3 级和分贝

前已指出，自然界可能出现的各种声源中，其声压大小的范围是很大的，大小之间可以相差上亿倍。变化范围这么大的声压，用线性标度表示是很不方便的。特别是人耳对声音大小的感觉并不正比于声压或声强的大小，而近似地正比于声压或声强的对数值。基于这两方面的原因，在声学中普遍采用对数标度来度量声压、声强、声功率等。因为对数的宗量是一个无量纲的量，所以通常把一个物理量的两个数值之比的对数，称为这个物理量的“级”，那个被比的量则称为参考量。有时又觉得取对数后的数值过小，而不方便，往往再乘以 10 倍来定级，并以“分贝”表示。

下面我们就来定义声功率、声强和声压的级。

一、声功率级 (SWL)

声功率级用符号 L_w 表示，其定义是：将某声功率 W 与参考声功率 W_0 的比值，取以 10 为底的对数，再乘以 10，所得结果以分贝表示。即

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (\text{dB}) \quad [8]$$

其中 $W_0 = 10^{-12} \quad (W)$

二．声强级（SIL）

声强级用符号 L_I 表示，其定义是：把某声强 I 与参考声强 I_0 的比值，取以 10 为底的对数，再乘以 10，结果以分贝表示。即

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad [\text{dB}] \quad [9]$$

其中 $I_0 = 10^{-12} \quad (\text{W/m}^2)$

三．声压级（SPL）

声压级用符号 L_p 表示，其定义是：把某声压 p （有效值）与参考声压 p_0 的比值，取以 10 为底的对数，再乘以 20，结果以分贝表示。即

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (\text{dB}) \quad [10]$$

其中 $p_0 = 2 \times 10^{-5} \quad P_a$ 即以人耳刚能觉察的声压值作为参考值，显然，人耳刚能觉察的声压级为 0 dB. 表一所列各种声源所对应的声压级，如表中第三列所示。由此可见，采用对数标度后，表一中所列各声源的声压级在 0 ~ 180 dB 之间。

由 [10] 式可知，声压每增加一倍，其声压级增加 6 dB；声压每增加 10 倍，声压级增加 20 dB.

电声学名词及物理意义（部分）

一、一般名词术语

1.1 电声学 electracoustics

研究声电相互转换的原理和技术，以及声信号的存储、加工、传递、测量和应用的科学。它研究的内容覆盖所有的声频范围，从次声到特超声，通常仅局限于可闻声范围。

1.2 可闻声 audible sound

- a. 引起听觉的声振动。
- b. 由声振动引起的听觉。

1.3 音调 pitch

听觉的属性。根据它可以把声音排成由低到高的序列。

1.4 响度 loudness

听觉的属性。根据它可以把声音排成由轻到响的序列。

1.5 音品、音色 timbre

是听觉的属性，它使听者区别同时存在的同样响度和音调的两个声音之所以不同。

1.6 纯音 pure sound, pure tone, simple tone

- a. 有单一音调的听觉。
- b. 简谐声振动。

1.7 噪声 noise

- a. 紊乱不定的或统计上随机的振荡。
- b. 不希望的或不需要的声音，或其他干扰。

1.8 声压 sound pressure

指由声扰动产生的压强增量（逾压）。

1.9 参考声压 reference sound pressure

用级来表示声压时所选用的基准，通常选用 $20 \mu\text{Pa}$ 。

1.10 级 level

某一量与该量的参考量之比的对数。对数的底、参考量和级的类别必须加以说明。

注：级的类别用复合名词来表示，如声压级或声功率级；
不论所选的是峰值、均方根值还是其他的量，参考量应保持不变；
对数的底通常用与该底有关的级的单位来说明。

1.11 贝〔尔〕 bel

是一种级的单位，其对数的底是 10，适用于功率类的量；当对数的底是 10 的平方根时，也是场量的级的单位。

注：例如功率类的量是声功率和声能量，场量是声压和电压。

1.12 分贝 decibel

贝〔尔〕的十分之一。

注：分贝是比贝〔尔〕更常用的级的单位；

1.13 声压级 sound pressure level

声压与参考声压之比的对数，以分贝表示的声压级是 20 乘以该比率的以 10 为底的对数。

1.14 声级 sound level , weighted sound pressure level

在一定的时间内,通过标准化的频率计权和时间计权得到的声压与基准声压之比的对数。用分贝表示的声级为 20 乘以该比率的以 10 为底的对数。

1.15 响应 response

在一定条件下,器件或系统由激励所引起的运动或其他输出。所用的输入和输出的类别必须表明。

1.16 失真 distortion

不希望的波形变化。

注: 输入和输出之间的非线性关系;
不同频率的传输的不一致;
相移与频率不成比例。

1.17 共振 resonance

系统受迫振动时的一种现象,激励频率的微小变化都将导致该系统的响应减小。

注:应说明所测响应的量,例如,速度共振。

1.18 共振频率 resonance frequency

共振时的频率。

注:在可能混淆时,则应说明共振的类型,例如,速度共振频率。

1.19 品质因数 quality factor

系统的共振尖锐度的度量,是在一周内储存的最大能量与耗散的能量之比的 2 倍。

注:历史上,字母 Q 是一个任意选择的符号,以表示一个电路单元的阻抗与阻之比,后来才引入“品质因数”这个名字。

二、声波的传输和吸收

2.1 波 wave

媒质中以一定速度传播的扰动,量度媒质中任何一点的量是一个时间的函数,而在任何时刻,在某一点的这个量是它的坐标的函数。

2.2 声波 sound wave

媒质质点的机械振动由近及远的传播,即声振动的传播。

2.3 声速 speed of sound , sound velocity , velocity of sound

声音在媒质中的传播速度。

2.4 声场 sound field

媒质中存在声压的空间。

2.5 吸声材料 sound absorbing material

具有比较大的吸声能力的材料。

三、电声器件及参数

3.1 换能器 transducer

用于接受某一类型的输入信号(能量),并输出(转换)另一类型信号(能量)的器件。

3.2 灵敏度 sensitivity

规定输出信号与相应的输入信号的比值。

3.3 灵敏度级 sensitivity level

换能器的灵敏度级是该换能器的灵敏度与基准灵敏度之比，用分贝表示。

3.4 阻抗 impedance

在给定频率，动力学的场量（如力、声压）与运动学的场量（如振动速度、质点速度）之比值，或电压与电流之比值。

注：阻抗这名词一般用于线性系统和稳态正弦信号。

3.5 力阻抗 mechanical

线性力学系统中某一点的力阻抗是作用在这点上的力与在力的方向上速度分量之比值。

3.6 劲度、刚度 stiffness

在摩擦和惯性可以忽略的系统中，在某一点的力与该点由力引起的同相位移之比值。

3.7 顺性 compliance

劲度的倒数。

3.8 机电换能器 electromechanical transducer

用于接受一个电输入信号并提供一个力输出信号，或反之的换能器。

3.9 声阻抗 acoustic impedance

在某一表面，声压与通过该表面的体积速度的比值。

3.10 声质量 acoustic mass

在惯性控制的频率点，声压与作正弦运动的总的同相体积速度之比值。

3.11 声劲〔度〕 acoustic stiffness

在摩擦和惯性可以忽略的系统中，声压与作正弦运动的总的同相体积速度之比值。

3.12 声顺 acoustic compliance

声劲〔度〕的倒数。

3.13 电声换能器 electroacoustic transducer

用于接受电输入信号并提供声输出信号，或反之的换能器。

3.14 声压灵敏度 pressure sensitivity

声接收用的电声换能器在规定频率的声压灵敏度是其开路电压与作用在该换能器上的实际声压之比值。

注：如负载阻抗不是开路，则应加以说明。

3.15 电功率灵敏度 sensitivity to electric power

在某一频率，声发送用电声换能器的电功率灵敏度是在规定方向上离有效声中心一定距离处的自由场方均根声压与输入电功率之比值。

3.16 轴向灵敏度 axial sensitivity

在某一规定频率，传声器的轴向灵敏度是指沿着主轴并朝向有效声中心方向传播的平面行波的自由场灵敏度。

3.17 指向性图案 directional pattern

在规定的平面和规定的频率，电声换能器的灵敏度是入射或辐射声波传播方向的函数，常用极坐标图案来表示。

3.18 极性 polarity

极性标志是在器件上表示该器件的输出端信号与输入端信号之间的极性关系。

下述情况下，电声换能器的一端为正极：

- a. 由外部声压增加（压缩）引起振膜向里运动时，在该端能产生相对于另一端的瞬时正电压，则该端为正极。
- b. 在该端加瞬时正电压时，振动膜向外运动，则该端为正极。
- 3.19 传声器 microphone
由声振动获得电信号的电声换能器。
- 3.20 标准传声器 standard microphone
用基准校准方法精确测定响应的传声器。
- 3.21 压强传声器 pressure microphone
主要对声压产生响应的传声器。
- 3.22 压差传声器 pressure - gradient microphone
主要对声压的梯度产生响应的传声器。
- 3.23 抗噪声传声器 anti - noise microphone , noise - cancelling mic
在一定的方向或距离能抑制环境噪声的传声器。
- 3.24 电容传声器 condenser microphone , capacitor mic
由电容量的变化而工作的传声器。
- 3.25 驻极体传声器 electret microphone
由内部一个电容极板上的永久电荷产生静电场的电容传声器。
- 3.26 〔电话〕送话器 〔 telephone 〕 microphone
用于电话装置中的传声器。
- 3.27 扬声器 loudspeaker
用于从电振荡获得声波并向周围媒质辐射声功率的换能器。
注：“扬声器”适用于扬声器单元，也适用于扬声器箱。
- 3.28 电磁扬声器 electromagnetic loudspeaker
由磁路的磁阻变化而工作的扬声器。
- 3.29 电动（动圈）扬声器 moving - conductor loudspeaker
在恒定磁场中，载有变化的电流的导线或线圈的运动而工作的扬声器。
- 3.30 耳机 earphone
从电信号获得声振动并与人耳紧密地声耦合的电声换能器。
- 3.31 〔电话〕受话器 〔 telephone 〕 receiver
用于电话装置中的耳机。

四、测量、仪器及设备

- 4.1 仿真耳、耳模拟器 artificial ear , ear simulator
校准耳机、受话器的装置，内有用于测量声压的已校准的传声器和在一定频带内总的声阻抗接近人耳平均声阻抗的用于校准耳机、受话器等的装置。
- 4.2 活塞发生器 pistonphone
校准传声器用的装置，它具有一个作往复运动的刚性活塞，运动的频率和振幅已知，并在一小的闭合腔内产生一个已知的声压。
- 4.3 消声室 free - field room , anechoic room
具有有效地吸收所有入射的声音的界面的房间。它提供自由场条件。