

微型扬声器 与 手机最佳匹配方案

概述

扬声器是一种将电信号转换成声信号的换能器件，俗称喇叭。

应用扬声器的领域很多。在通信、广播、教育、日常生活等方面都有广泛的应用。

动圈式扬声器在各类扬声器中，应用最多、最广泛。

*重点讨论

手机、数码产品用的 微型动圈式扬声器

Relationship between music IC and Speaker 音源与扬声器之间的关系

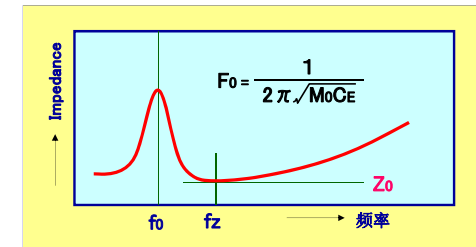
- | | |
|---------------------|----------------------|
| • *music IC | • * Speaker |
| • Max output power | • Sensitivity F0 |
| • 最大输出功率 | • 灵敏度 F0 |
| • Acoustic spectrum | • Frequency response |
| • 有关声音的频谱 | • 频响范围 |
| | • T.H.D.失真 |
| | • Rated/Max Power |
| | • 额定/最大功率 |

Technical Specifications of Speaker

1. Resonance Frequency (F0)	900±20% Hz
2. Impedance	8±15%Ω at 2kHz
3. Measuring Diagram	Shown in Fig.1
4. Frequency Response	Shown in Fig.2
5. Sensitivity	90±3dB at 1kHz 0.1W/0.1m
6. Rated/Max Power	0.8W/1.2W
7. T. H.D.	Less than 10% at 1kHz for S.P.L.

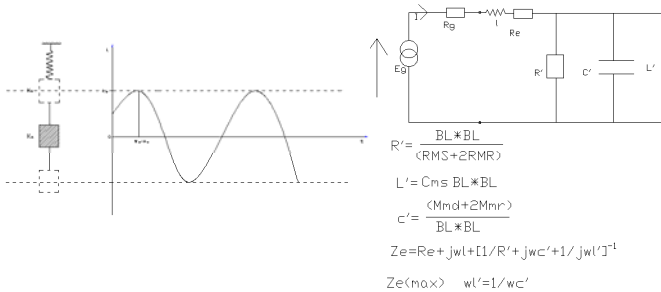
阻抗和最低共振频率

扬声器阻抗具有频率特性。由振动系统的质量和振动系统支撑部的弹性决定的共振频率（称之为最低共振频率 f_0 ）点出现峰值。而在 f_0 以上出现最小值这样的频率点的阻抗，称之为标称阻抗 Z_0 。另外，一到高频段，该阻抗将随着音圈阻抗而按比例升高。

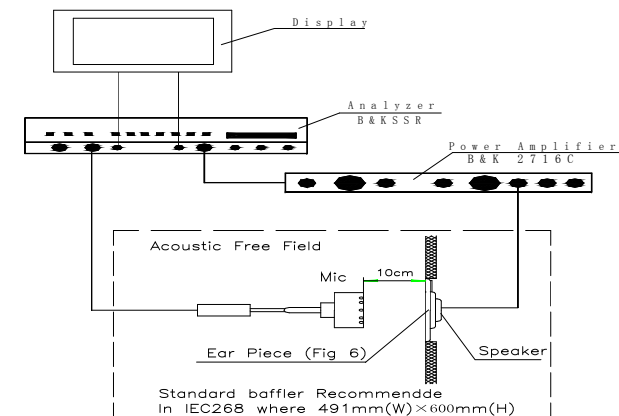


F0与阻抗的定义

Eg: 信号源电压; R_g 信号源电阻; R_e 音圈及外接直流阻抗; R' ‘扬声器辐射电阻
C ‘扬声器辐射容抗; L' 扬声器辐射感抗

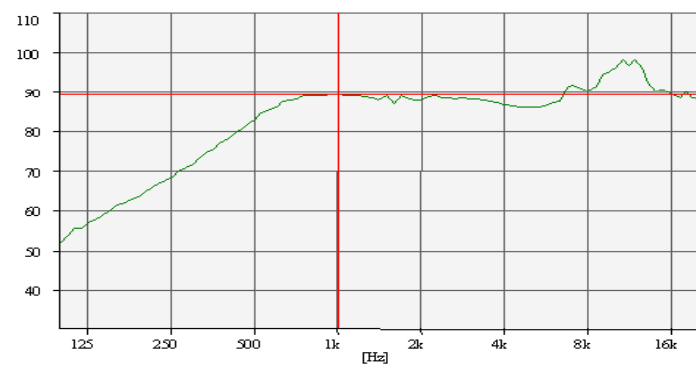


Measuring Diagram Fig.1

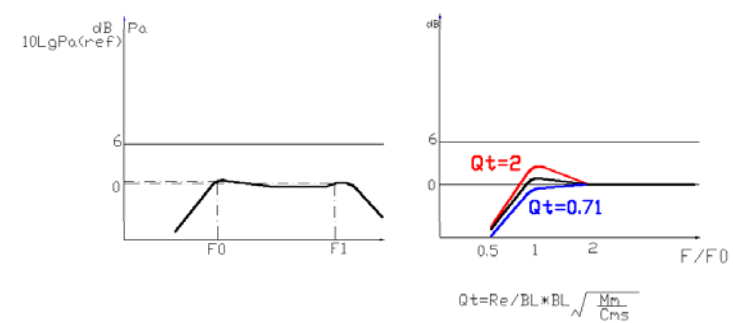




Frequency Response Fig.2



扬声器频响曲线和 Q_t 的关系



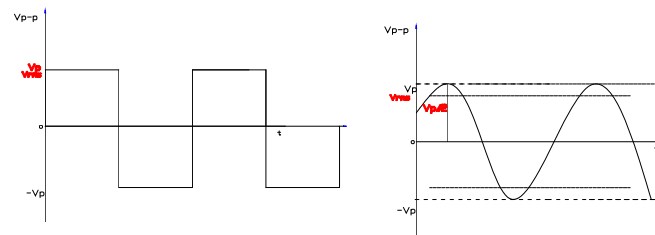
*Rted/Max Power

- 根据IEC268-5 (1989)、GB/T9396-1996中的规定, 可分为额定功率、最大功率。
- **额定功率(Rated Power)**
- Speaker 可允许长时间正常工作之功率, 在额定频率范围内馈给扬声器以规定的模拟节目信号, 而不产生热和机械损坏的相应电功率。功率高表示Speaker可承受较高声音输出。
- **最大功率(Max Power)**
- Speaker在短时间内不会被破坏之功率, 指能承受持续时间为1秒、间隔为60秒、重复60次的模拟节目信号, 而不产生永久性损坏的功率。(但声音的表现无法保证正常)

手机扬声器功率计算

$$\text{弦波Rms} = (V_{p-p}/2 * V_{p-p}/2)/2R_e$$

$$\text{方波Rms} = (V_{p-p}/2 * V_{p-p}/2)/R_e$$



扬声器谐波失真特性

- 谐波失真定义
- 谐波计算公式
- 谐波失真测试
- 谐波失真产生原因

*谐波失真定义

- 失真产生总谐波声压的有效值与输出声压的有效值 P_t 的比值称为总谐波失真, 单位用百分数表示

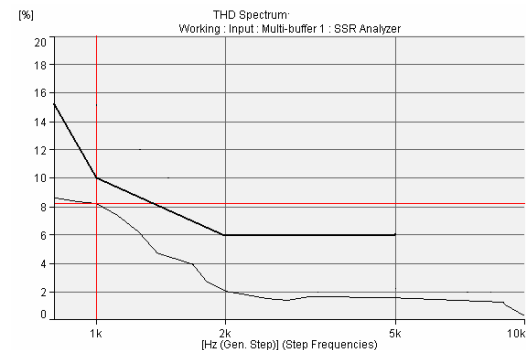
$$THD_{tot} = \sqrt{\frac{p_{2f}^2 + p_{3f}^2 + p_{4f}^2 + \dots}{p_f^2 + p_{2f}^2 + p_{3f}^2 + \dots}}$$

$$THD_{nf} = \sqrt{\frac{p_{nf}^2}{p_f^2 + p_{2f}^2 + p_{3f}^2 + \dots}}$$

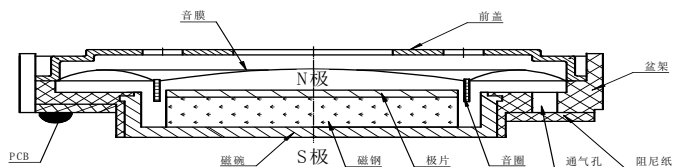
谐波失真产生的原因

- 磁路工作状态在非线性工作区
- 手机的超功率使用
- 手机工作状态不在扬声器的有效的频响范围内
- 振膜材料的刚性系数差
- 扬声器的结构不对称
- 工艺操作一致性差

失真曲线

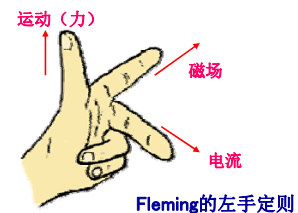


扬声器的基本结构



工作原理

- 根据法拉第定律，当载流体通过磁场时，会受到一电力，其方向符合弗来明左手法则，力与电流、磁场方向互相垂直，受力大小与电流、导线长度、磁通密度成正比。



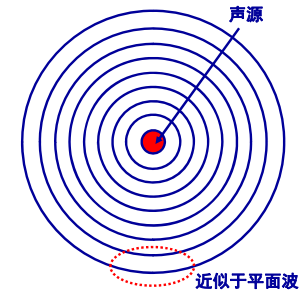
• $F \propto BIL$

声音的概念

空气中的物体产生振动，振动了四周的空气，使得空气受到压缩或者变得稀疏。于是空气压力产生高低变化（也即空气密度高的区域和密度低的区域）。空气的这种稀疏和致密向四周扩散传播，使得人的耳朵里的空气压力发生变化，耳膜发生振动，便听到声音。

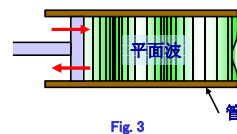
球面波

呈球状的声源，在其半径方向以相同的速度产生振动时，其四周产生的波，就称为球面波。这个声音随着远离声源而减弱，其减弱程度与离开声源的距离的平方成反比例。



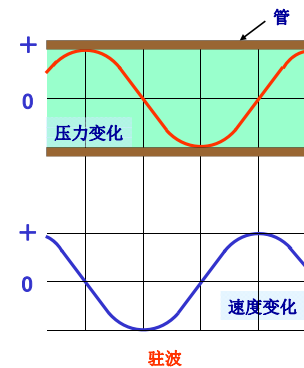
平面波

将无限长的管状物的一端限制为活塞状，振动时，管内产生的平行波就是平面波，在自由的空间里要产生平面波，就需要无限大的平面；从声源点发出的球面波，在距离声源足够远的地方，也可以把波阵面看作是平面波。



驻波

在存在着反射面的空间，当声源辐射出一定频率的连续声波时，在声源和反射面之间就存在一个声场。这时，入射（发射）声和反射声会互相干涉而出现强声区域和弱声区域。这种强声和弱声点在一定的部位出现时，这种声场便称为产生驻波的声场。在实际的试听室中，必须避免这种现象的产生。



声音的强度（声音的物理量）

表示声波在前进方向的垂直面上，单位面积单位时间所通过的声能。

$$W_o = \frac{p^2}{\rho c} = v^2 \rho c$$

$$(P = \frac{V^2}{R} = I^2 R)$$

W_o: 声强 (W/cm²) ρ : 空气密度 (g/cm³)
c : 大气中的音速 (cm/s) P : 音压有效值 (dyne/cm²)
v : 空气分子速度有效值 (cm/s)

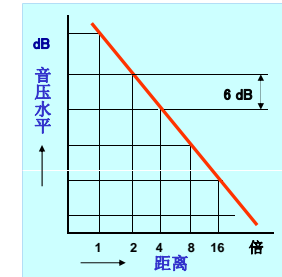
由于难以通过直接测定(W/cm²)来反映实际的声音强度，故一般是通过测定音压，并用如下公式来表示声音强度的水平。

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \text{ (dB)}$$

L_p: 在p(μbar)的音压强度的Level (dB) p₀: 0.00002 (μbar)
* 标准Level : 音压 0.00002 (μbar) = 音压水平 0 (dB)

在自由空间中的特性

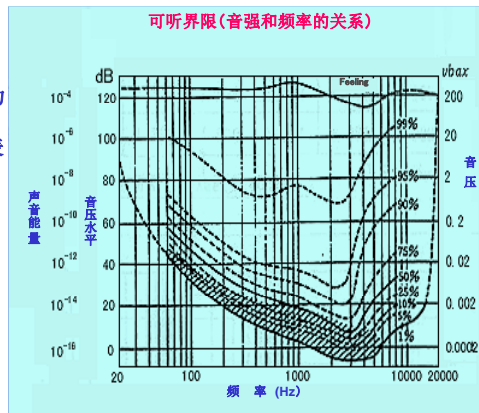
- 在各个方向都无限自由的空中，由声源所发出的声波是以球面波的形式向各个方向扩散传播的。所以，音压水平的下降与离开声源的距离的平方成反比例，音压水平下降。



$$\text{音压水平差} = 20 \log \frac{r}{r_0} \text{ (dB)}$$

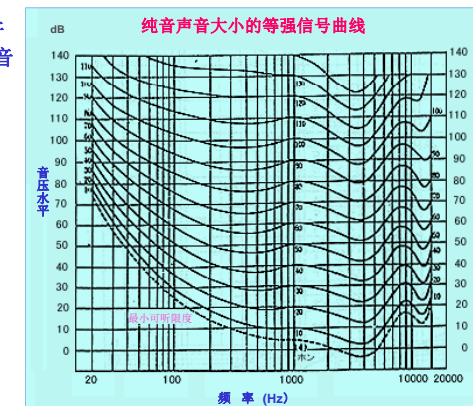
可听界限

听力良好的人勉强可听到的声音，其频率为1KHz、音压为0.00002 μbar、声能为10⁻¹⁶W/cm²。如表所示，听力比最下面曲线好的人不到总人数的1%；另外，如50%的曲线所示，有一半人的听力比此曲线好。超过120dB(200 μbar)，人耳就会有刺痛感。



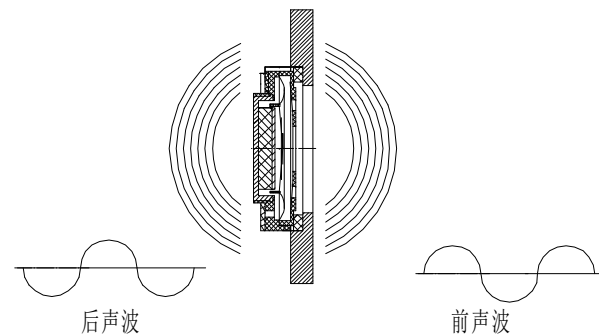
耳朵等（强）信号

人耳的特性虽然各不相同，但大体上具有如图所示的特性。也就是说，1kHz的声音在100dB的SPL下可以听到声音，如果20Hz的声音达不到127dB，那么就感觉不到与1kHz的100dB同样大小的声音。



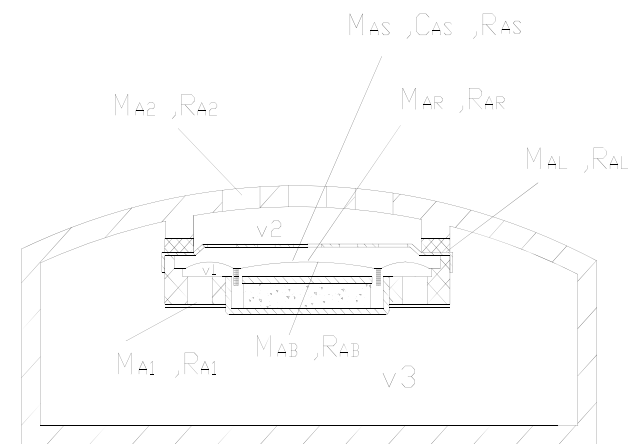
何为声波干涉

- 当扬声器振膜振动时，振膜前后都会有声波产生，当声波扩散时，前后声波会相遇，由于前后的波长相同，相位相反，故此时声波会互相抵消，而使输出声音变小。
- 避免声波干涉的办法为在扬声器的前方装一档板，如此就可阻止前后声波相干涉。



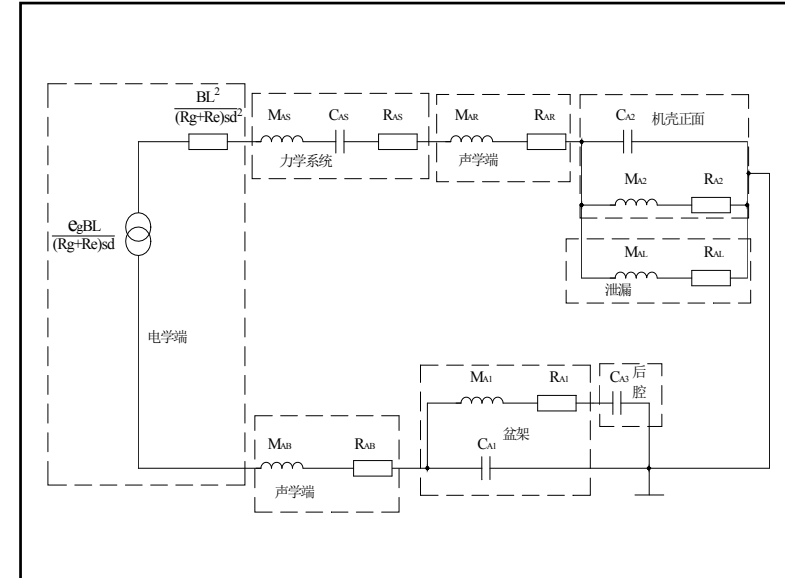
手机腔体、孔与扬声器的关系

- 前腔：主要是避免前后腔声波干涉，由机壳台阶和胶垫给合形成，设计时要充分考虑其空间大小，对输出音压的大小有影响。
- 内腔：主在是避免前后腔声波干涉，好的设计会让声音有共鸣感、立体感。
- 出音孔：声音由此发出，孔的大小会对频响有影响。
- 泄漏孔：由于手机在设计过程中无法避免，如SIM卡、机壳合盖处、耳机孔等，为避免声波相互干涉，应尽量远离出音孔为佳。



音腔对手机音频性能及实际声音的影响

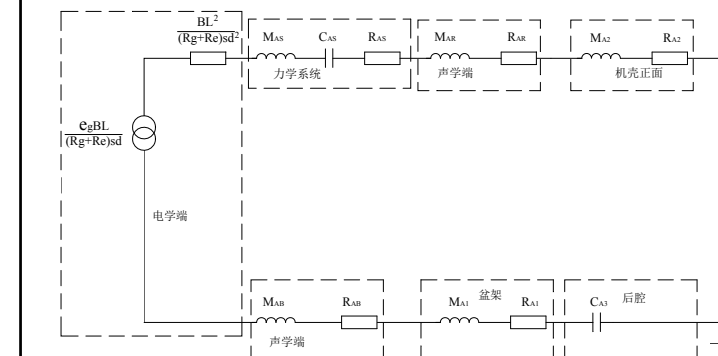
音腔空间	对音频性能影响	对音质的影响
前腔大 前腔小	主要影响音频高频截止点 容积大截止频率低，反之高	声间空旷 声音单调，无共鸣感
出声孔大 出声孔小	音频截止点高 音频截止点低	声音明亮、丰满 声音单调、尖锐
内容积大 内容积小	频率响应曲线在F0处较高 频率响应曲线在F0处低落	声音较无力，共鸣感不足 声音低频量感不足，声音听不出感觉
泄漏孔靠近扬声器 泄漏孔远离扬声器	感度降低，低频曲线降低 无	声音尖锐，低音感不足 无



BL 为机电转换系数；
 e_g 为信号源的电压；
 R_e 为扬声器直流阻；
 R_g 为信号源的内阻；
 S_d 为扬声器的有效辐射面积；
 M_{AS} 为扬声器振膜与音圈的等效声质量；
 C_{AS} 为扬声器振膜的等效声顺；
 R_{AS} 为扬声器振膜的等效声阻；
 M_{AR} 、 R_{AR} 分别为扬声器振膜正面的辐射声质量及辐射声阻；
 M_{AB} 、 R_{AB} 分别为扬声器振膜背面的辐射声质量及辐射声阻；
 M_{A1} 、 R_{A1} 分别为扬声器支架背面开孔的等效声质量及等效声阻（此部分声阻也包括外加阻尼的等效声阻）；
 M_{A2} 、 R_{A2} 分别为机壳正面发音孔的等效声质量及等效声阻；
 M_{AL} 、 R_{AL} 分别为扬声器正面与机壳之间由于泄漏而产生的声质量及声阻；
 C_{A1} 为扬声器振膜背面与盆架之间容积的等效声顺， $C_{A1}=V_1/\rho c^2$ ；
 C_{A2} 为扬声器振膜正面与机壳之间容积的等效声顺， $C_{A2}=V_2/\rho c^2$ ；
 C_{A3} 为扬声器背面与机壳之间后腔容积的等效声顺， $C_{A3}=V_3/\rho c^2$ ；

扬声器在机壳正面的安装，均是将扬声器紧贴面板安装，故其正面的腔体容积 V_2 很小，即 C_{A2} 亦很小，在较低频时（一般指音频范围内）其产生的声抗很大，故此支路可看作开路。同理，扬声器振膜背面与支架之间形成的腔体容积也足够小，故此支路亦可看作开路。

另外，扬声器与机壳之间是密闭的，其产生的泄漏很小，故 M_{AL} 、 R_{AL} 支路很小，可以忽略。故图1的等效线路可以简化为下图所示的等效线路图。



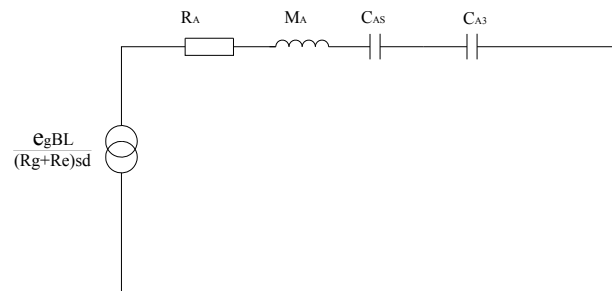
一般地，机壳正面无须增加任何的外加阻尼，而机壳本身的阻尼也很小，可以忽略不计，故 $RA2$ 可以忽略。

对于扬声器来说，振膜本身的阻尼是很小的，通常需要外加阻尼来调节，即通过调节 $RA1$ 来调节扬声器单体的性能（主要调节 Qts ）。

令 $MA=MAS+MAR+MAB+MA1+MA2$

$RA=(Bl^2/((Rg+Re)*Sd^2)+RAS+RAR+RAB+RA1$

则上图的等效线路可以简化为下图所示的等效线路。



对于特定的扬声器来说， MAS 、 MAR 、 MAB 均为定量，且从上式中可以看出， $MA1$ 、 $MA2$ 影响整体声质量 MA ，而辐射声压 Pr 为：

$$Pr = \rho / (4\pi r) * eg * Bl / ((Rg + Re) * Sd * MA) * G(j\omega)$$

从上式中可以看出输出声压的幅值与 MA 成反比，故一般要求 $MA1$ 、 $MA2$ 尽可能小。而

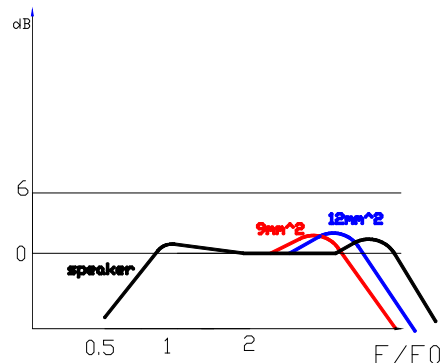
$$MA2 = \rho(l2 + \Delta l2) / S2, MA1 = \rho(l1 + \Delta l1) / S1,$$

其中， $l1$ 、 $l2$ 为开孔的深度， $\Delta l2$ 、 $\Delta l1$ 为开孔的末端校正， $S1$ 、 $S2$ 为开孔的面积。

那么从上式中可以看出，要求发声孔的面积尽可能大。

故要求机壳的开孔面积尽可能大。

腔体出声孔对频响曲线影响



另外，扬声器单体的 $f_0 = 1 / (2 * \pi * (MA * CAS)^{1/2})$ ；

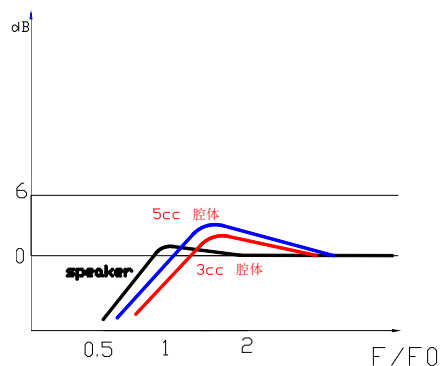
而装机之后，系统的谐振频率 $f_c = 1 / (2 * \pi * (MA * CA)^{1/2})$ ，由图4所示的等效线路图可知， CA 是声顺 CAS 和 $CA3$ 的串联： $CA = (CAS * CA3) / (CAS + CA3)$

由以上三式可得， $f_c = (1 + (CAS / CA3))^{1/2} * f_0$

由此可以看出，扬声器的等效容积是一定的，而如果 $CA3$ 越大，即 $V3$ 越大， f_c 将会越低，越接近于扬声器单体的 f_0 。反之，如果后腔容积 $V3$ 越小，则扬声器装腔之后的整体 f_c 将越高，整体的低频效果将越差。故一般要求在条件允许的情况下，后腔容积尽可能大；同时要利用机壳后腔所有可利用的容积，保证扬声器单体背面与整个后腔相通。

故要求后腔的容积尽可能大。

后腔对频响曲线影响



由上图中可得 $f_0' = (1 + C_{AS} / C_{A1})^{1/2} * f_0$

而一般 C_{A1} 很小，通常要比 C_{AS} 小得多，故导致结果 f_0' 变得很高，最终结果是基本上不存在低频性能。

故扬声器单体背面的发声孔一定要自由敞开，且要与整个机壳的后腔相通。

再观察图1结构图及图2所示的等效线路图，如果机壳后腔中有障碍物将盆架背面的发声孔堵住，则等效线路图2中的 $CA3$ 将变成无穷大，即 $CA3$ 相当于短路。而以上亦描述过，机壳正面发声孔以及盆架背面的发声孔都尽可能的大，而且机壳正面发声孔阻尼也很小，故可忽略 $MA2$ 、 $RA2$ 、 $MA1$ ；同时机壳正面的体积 $V2$ 很小，此支路相当于开路；另外，忽略泄漏 MAL 、 RAL ，故图2中的等效线路可以简化为图5：

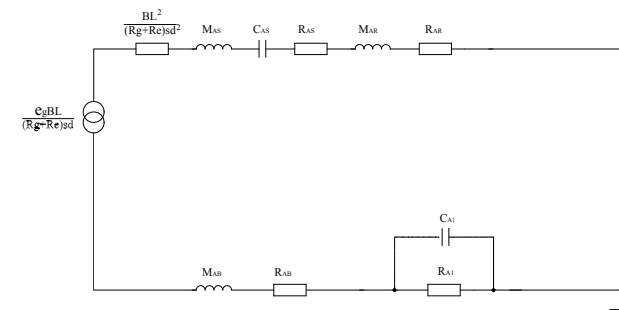


图2 中描述到泄漏，也就是说，如果扬声器正面与机壳安装不密闭，则图2所示的等效线路中的泄漏阻将不能忽略。同上，忽略 $MA2$ 、 $RA2$ 、 $CA2$ 、 $CA1$ 、 $MA1$ ，则图2中的等效线路图可以简化为图6中的等效线路图：

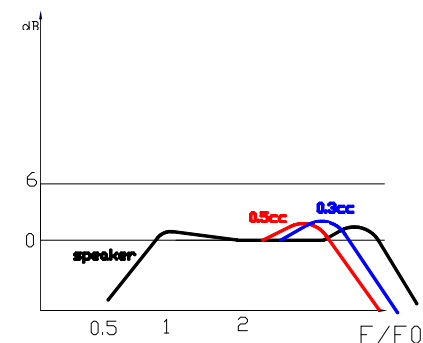


其中, $MA' = MAS + MAR + MAB$ $RA' = (Bl^2 / ((R_g + R_e) * S_d^2) + RAS + RAR + RAB$

由上图可见, 由于泄漏的存在而附加了一个额外的声阻及声质量, 而且泄漏越厉害, 这两者的值越大。而声质量影响其输出声压, 声质量越大, 输出声压越低; 而声阻则影响低频端的Q值: 声阻越大, Q值越小, 则低频端的灵敏度越低。可见两者均会影响机壳正面的输出灵敏度。

故扬声器正面必须与机壳密闭, 不能存在泄漏。

前腔容积对频响曲线影响



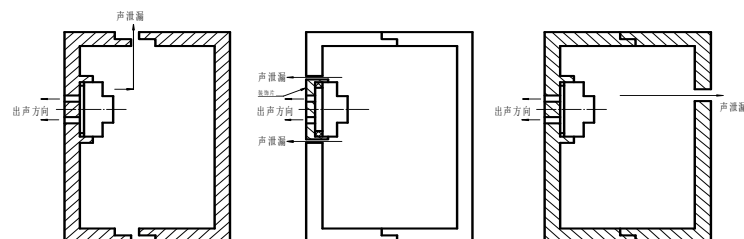
音腔设计常见问题一

问题点: 声泄漏造成声波干涉, 致使声音小及音质不佳

状况: 1、机壳不密封。

2、机壳装饰片与机壳不密封。

3、SIM卡、电池卡等泄漏孔太接近扬声器

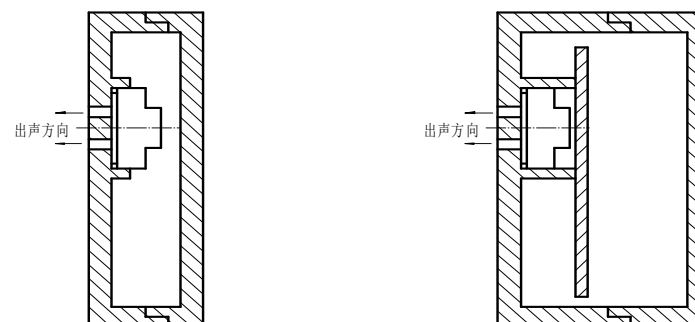


音腔设计常见问题二

问题点: 手机内容积变小, 造成音小及音质不佳

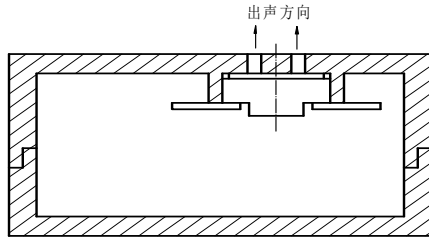
状况: 1、手机内容积设计太小。

2、手机中扬声器定位壁过高, 与PCB密贴。



音腔设计常见问题三

问题点：振膜无法自由振动，造成声音小及音质不佳
状况：1、扬声器阻尼纸部位被手机内部器件压住。



音腔设计常见问题四

问题点：声波反射严重，造成声音小

状况：1、翻盖机用单面发声受话器，出声间隙设计太小。

2、侧边出声，音隙设计太小。

总结（一）

扬声器的额定功率需

\geq

手机之输出最大功率

总结（二）

音腔的设计会影响音乐的最终听觉感受，只考虑结构的设计绝对无法设计出最佳效果的声音产品。应考虑整体腔体的设计原则，常用方法如下：将扬声器装入手机机壳内，把手机零部件全部装入，测试整体效果。

总结（三）

手机常发生的问题之一是音量不够大，主要原因有：

- 1、音腔设计不正确
- 2、手机内容积不够
- 3、所选取的扬声器灵敏度不高
- 4、因空间限制，设计时选取小尺寸扬声器

总结（四）

手机常发生的另一个问题是破音，主要原因有：

- 1、手机音频输出功率超出扬声器的额定功率
- 2、手机音频输出频率已超出扬声器的有效频率范围
- 3、选用的扬声器低频部份承受功率较差

总结（五）

由于各扬声器生产商测试方式不一，各规格书上所标参数存在着差异，甚至有些厂家故意将规格书上的参数标的很漂亮来吸引用户。

只有在相同条件下，测得的数据才能反应出器件的优良，判断出器件的实际效果。

谢谢！