

噪声产生原因

空气动力噪声

由气体振动而产生。气体的压力产生突变，会产生涡流扰动，从而引起噪声。如空气压缩机、电风扇的噪声。

机械噪声

由固体振动产生。金属板、齿轮、轴承等，在设备运行时受到撞击、摩擦及各种突变机械力的作用，会产生振动，再通过空气传播，形成噪声。

液体流动噪声

液体流动过程中，由于液体内部的摩擦、液体与管壁的摩擦、或者流体的冲击，会引起流体和管壁的振动，并引起噪声。

电磁噪声

各种电器设备，由于交变电磁力的作用，引起铁芯和绕组线圈的振动，引起的噪声通常叫做交流声。

燃烧噪声

燃料燃烧时，向周围的空气介质传递了热量，使它的温度和压力产生变化，形成湍流和振动，产生噪声。

声波和声速

声波

质点或物体在弹性媒质中振动，产生机械波向四周传播，就形成声波（声波是纵波）。可听声波的频率为 20~20000Hz，高于 20KHz 的属超声波，低于 20Hz 的属次声波。

点声源附近的声波为球面波，离声源足够远处的声波视为平面波，特殊情况（线声源）可形成柱面波。

声频（ f ）声速（ c ）和波长（ λ ）

$$\lambda = c / f$$

声速与媒质材料和环境有关：

空气中， $c = 331.6 + 0.6t$ 或 $c = 20.05\sqrt{273 + t}$ (m/s)

在水中声速约为 1500 m/s t —摄氏温度

传播方向上单位长度的波长数，等于波长的倒数，即 $1/\lambda$ 。有时也规定 $2\pi/\lambda$ 为波数，用符号 K 表示。

质点速度

质点因声音通过而引起的相对于整个媒质的振动速度。声波传播不是把质点传走而是把它的振动能量传走。

声场

有声波存在的区域称为声场。声场大致可以分为自由场、扩散场（混响场）、半扩散场（半自由场）。

自由场

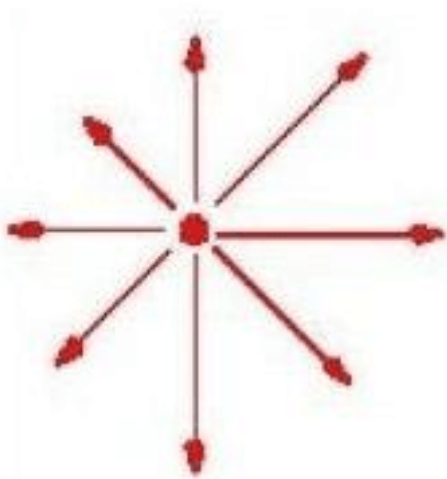
在均匀各向同性的媒质中，边界影响可忽略不计的声场称为自由场。在自由场中任何一点，只有直达声，没有反射声。

消声室是人为的自由场，是由吸声材料和吸声结构做成的密闭空间，静谧无风的高空或旷野可近似为自由场。

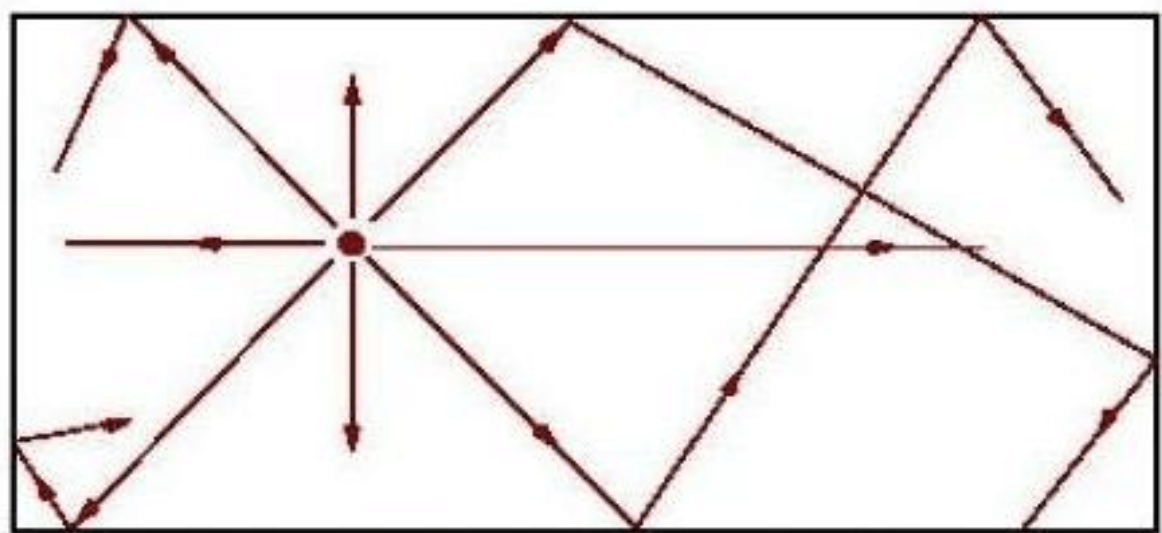
扩散场

声能量均匀分布，并在各个传播方向作无规则传播的声场，称为扩散场，或混响场。声波在扩散场内呈全反射。

人为设计的混响室是典型的扩散场。无论声源处于混响室内任何位置，室内各处声压接近相等，声能密度处处均匀。



自由场



扩散场（混响场）

半扩散场

如果实验房间很大，以至边界墙面和天花板的反射可以忽略，只剩下地面的反射，这种空间称为半扩散场，或半自由场。

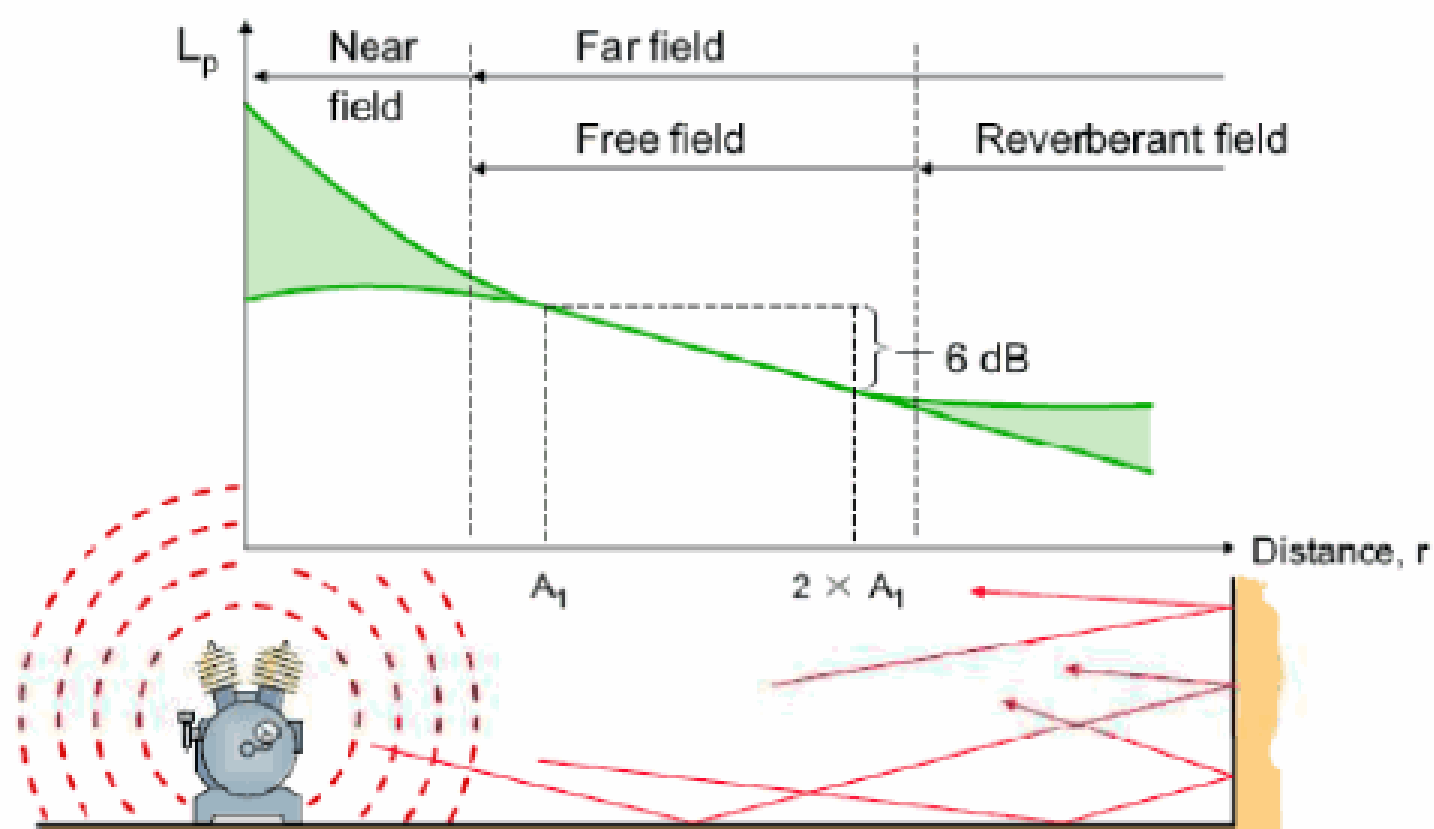
精密的声学测量和分析要求在自由场或者扩散场进行，一些工程要求的测试可以在半自由场进行。

近场和远场

在不足两倍机械尺寸或所发声波频率最低的一个波长距离之内（两者取大者），为近（声）场，大于此距离为远（声）场。

近场的质点速度与瞬时声压不同相，远场的质点速度与瞬时声压同相。

距离增加一倍，点声源声压级降 6dB, 线声源声压级降 3dB。



声压与声压级

声压

由于声波存在而引起的大气压力增值，用符号 p 表示。

单位是 Pa 或 N/m^2 。

听阈声压也称为基准声压 $p_0=2 \times 10^{-5}Pa$ (1000Hz)，即标准化额定听阈，表示有正常听力的人，平均能听到的 1000Hz 的最低声音。在水中 $p_0=1 \mu Pa$ 。通常 p 和 p_0 指有效值而非瞬时值。

dB 标尺

由于可检测到的声压幅值范围很大，而人耳对声压刺激的反应与对数规律有关，习惯上在表示声学参数时，都是取测量值和参考值的比率的对数值，即采用 dB 标尺。

声压级—SPL 或 L_p

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (\text{dB})$$

p —实际声压

痛阈声压和声压级分别为 $p=20Pa$, $L_p=120\text{dB}$ (1000Hz)

相同声压级加法

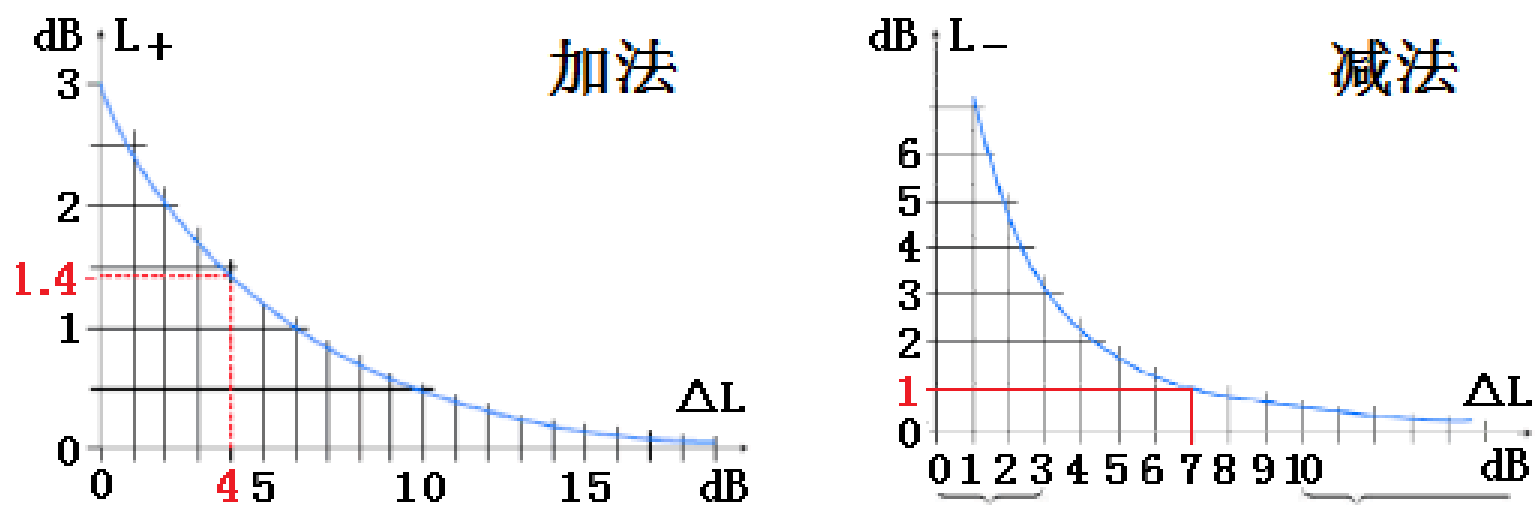
两个同声压级相干单频声源叠加，声压级增加 6dB。

两个同声压级非相干声源叠加，声压级增加 3dB。

工程上遇到问题一般是加 3dB。

不同声压级加减法

查表：



例：\$L_1=55\text{dB}\$ ， \$L_2=51\text{dB}\$

\$\Delta L=4\text{dB}\$，对应增量 \$L_+=1.4\text{dB}\$

所以：\$55\text{dB}+51\text{dB}=(55+1.4)\text{dB}=56.4\text{dB}\$

\$L_1=60\text{dB}\$ ， \$L_2=53\text{dB}\$

\$\Delta L=7\text{dB}\$，对应减量 \$L_-=1\text{dB}\$

所以：\$60\text{dB}-53\text{dB}=(60-1)\text{dB}=59\text{dB}\$

计算：

$$L_{pt} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n \frac{p_i^2}{p_0^2} \right) = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{L_{pi}/10} \right) \quad (\text{dB})$$

例：\$55\text{dB}+55\text{dB}=10 \lg (10^{55/10}+10^{55/10})=58\text{dB}\$

\$55\text{dB}+40\text{dB}=10 \lg (10^{55/10}+10^{40/10})=55\text{dB}\$

\$60\text{dB}-53\text{dB}=10 \lg (10^{60/10}-10^{53/10})=59\text{dB}\$

两个声源声压级相差 15dB 以上，则小的声压级影响可忽略。

声强和声强级

声强

单位时间内，声波通过垂直于声波传播方向单位面积上的声能量。用符号 I 表示，单位为 W/m^2 。

声压变化引起媒质质点的移动，声强即是声压与质点速度的积。对于球面波和平面波，声强与声压的关系：

$$I = p v = p \frac{p}{c} = \frac{p^2}{c} = \frac{W}{4 r^2} \quad (W / m^2)$$

p —声压 ρ —介质密度 c —声速

W —声功率 r —测量点到点声源的距离

ρc —声阻抗 $20^\circ C$ 时 $\rho c=408$ (瑞利, Kg/m^2s)

v —质点速度, $v=p/\rho c$

声强级—SIL 或 L_I

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \lg \frac{P^2 / c}{p_0^2 / c}$$

$$= 10 \lg \frac{P^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{P}{p_0} = L_P \quad (dB)$$

基准声强 $I_0=10^{-12} W/m^2$ (1000Hz)

空气在室温时，与基准声压相对应的声强近似等于基准声强，因此自由场中，声强级与声压级数值近似相等；扩散场（混响场）中声强处处为零。

声功率和声功率级

声功率

单位时间内，声波通过垂直与声波传播方向某指定面积的声能量。一般指的是所谓声源声功率，即声源辐射的总声功率，单位为 W。人正常讲话声功率约为 $10^{-5}W$ 。

距离点声源距离为 r 的球面各点声强 I 与声功率 W 的关系：

$$W = 4\pi r^2 I$$

声功率级—SWL 或 L_w

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0} = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \lg \left(4\pi r^2 \frac{W}{W_0} \right) \quad (\text{dB})$$

基准声功率 $W_0 = 10^{-12} W$

对球面波： $L_w = L_p + 20 \lg r + 11$ (dB)

对半球面波： $L_w = L_p + 20 \lg r + 8$ (dB)

在混响室： $L_w = L_s - 10 \lg T + 10 \lg V - 14$ (dB) ?

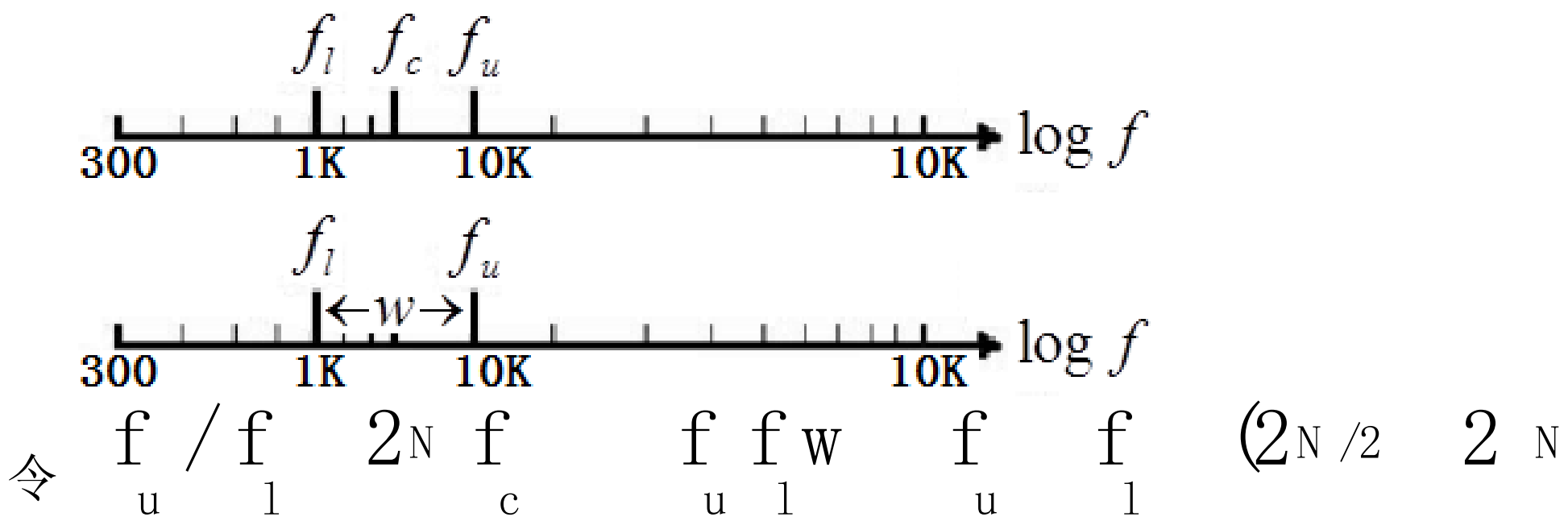
L_s —混响场中平均声压级 V —房间容积

T —混响时间，一般指 T_{60} ，声源停止后声压级下降 60dB 所需时间。

噪声的频谱

倍频程 (Octave)

将频谱分为若干个连续的频段（每个频段的上限频率等于下一个频段的下限频率），每个频段为一个频带，以直方图表示。

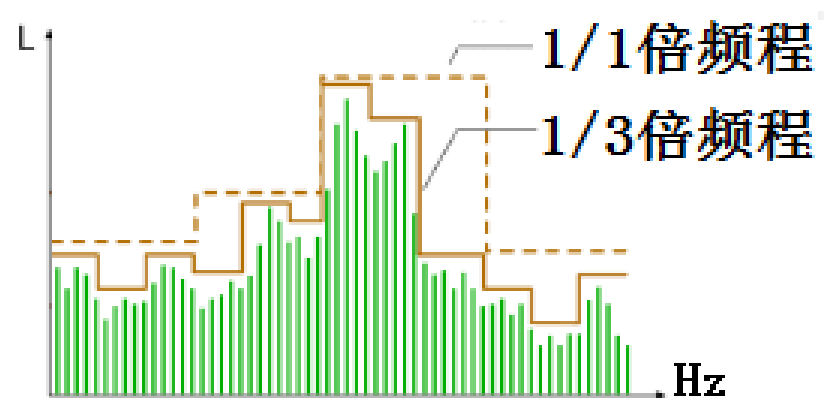


$N=1$: 一倍频程, 简称倍频程;

$N=1/3$: 三分之一倍频程;

$N=1/12$: 十二分之一倍频程

.....



$$\frac{f_u}{f_l} = \frac{f_c}{f_c} \sqrt{\frac{f_u}{f_l} \frac{f_l}{f_u}} = \frac{f_u}{f_l} \left(\frac{2^N}{2^N} \right) = \frac{2^N}{2^N}$$

常见的有 1/1、1/2、1/3、1/12、1/24 倍频程分析, 其中 1/3 倍频程分析最常用。1/3 倍频程可由 FFT 线状谱通过一定综合运算得出。

声谱

频率为横坐标，声音的强弱（声压级、声强级或声功率级）为纵坐标，绘制出声音强弱随频率分布的线图称为声音的频谱，简称声谱。

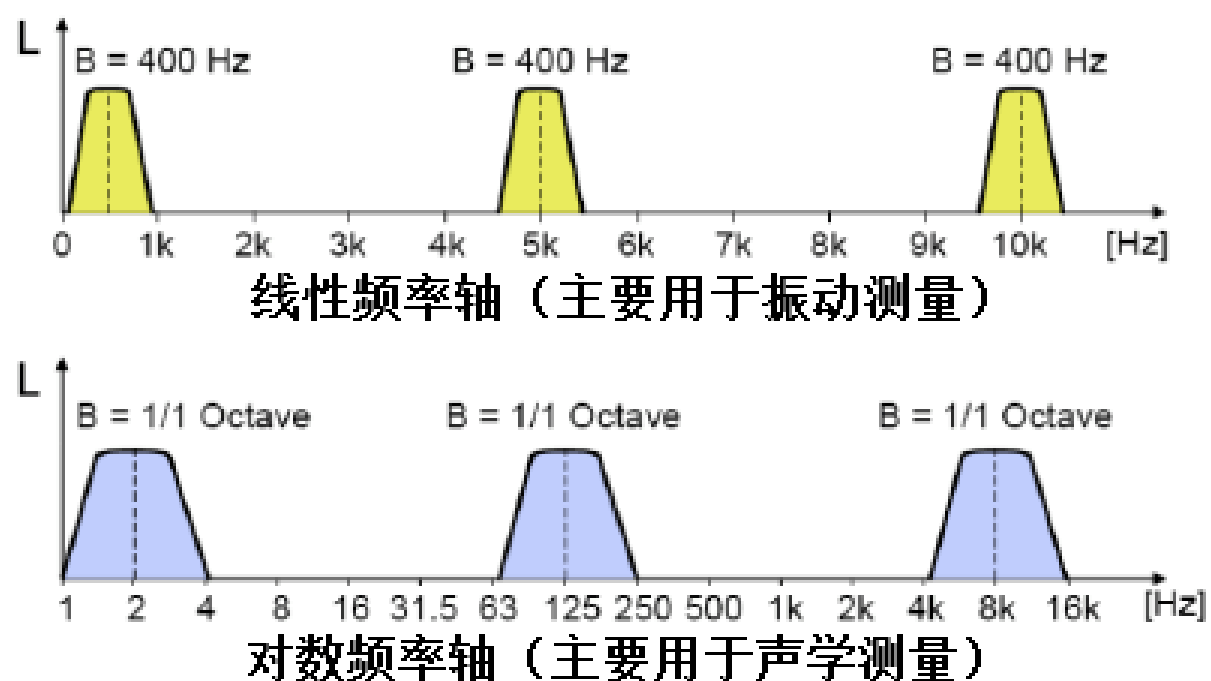
由 FFT 分析得到的频谱，具有等带宽性质，其频率分辨率等于谱线间隔 Δf ，这种方法谱线较多， Δf 较小，可称为窄带谱。

声音的频率范围很宽，一般不可能，也没有必要对每个频率逐一测量，一般都用 1/1 倍频程或 1/3 倍频程进行分析。

用声谱进行分析时，可得到线谱和连续谱等。线谱多是由转动引起的谐波，可用于改进机械结构；连续谱反应整体结构的噪声状况，可用于整体降噪改进（减振、隔振等）。

倍频程滤波器

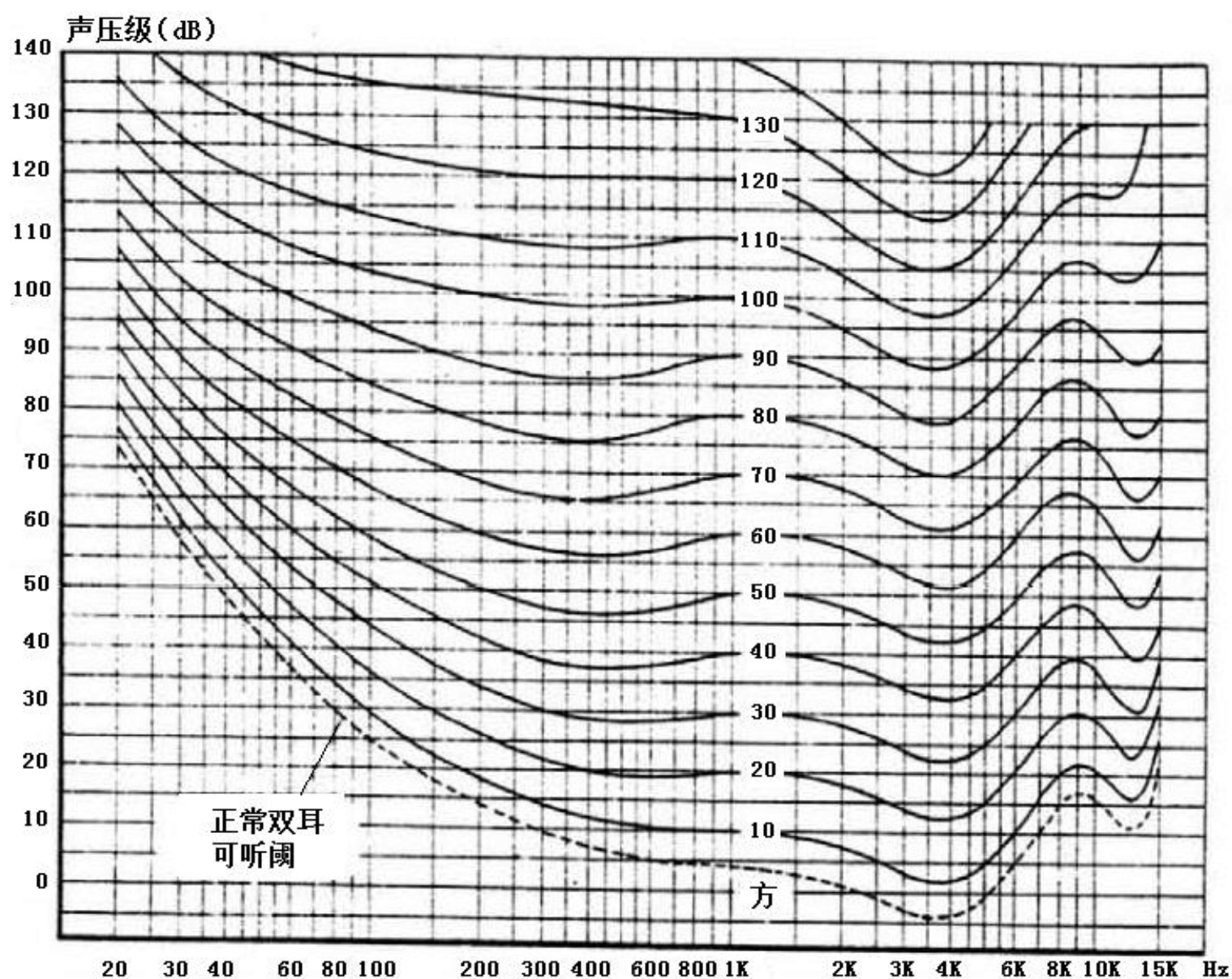
滤波器按带宽类型可以分为恒百分比（比例）带宽滤波器和恒（值）带宽滤波器。FFT 分析大多用恒（值）带宽滤波器，声学测量需要用恒百分比（比例）带宽滤波器。



计权声级

响度级和等响曲线

人耳对声音强弱的主观感受，不仅与声压级有关，而且与频率和波形有关。工程上，用响度级 P（单位：Phon）来度量这种主观感觉。对于频率为 1000Hz 的纯音，响度级和声压级的数值是相等的，只是单位不同。其它频率的纯音，响度级和声压级的关系由等响曲线给出。作为声品质分析依据的等响曲线，是由大量心理学试验得出的结果。



纯音的等响曲线

计权声级

考虑到人耳对不同频率的声音敏感度不同（对 3K~6KHz 的声音最敏感），在一般噪声测量仪器中，常配置一些特定的滤波电路，叫计权网络。

通过计权网络得到的声压级，叫做计权声级，简称声级。

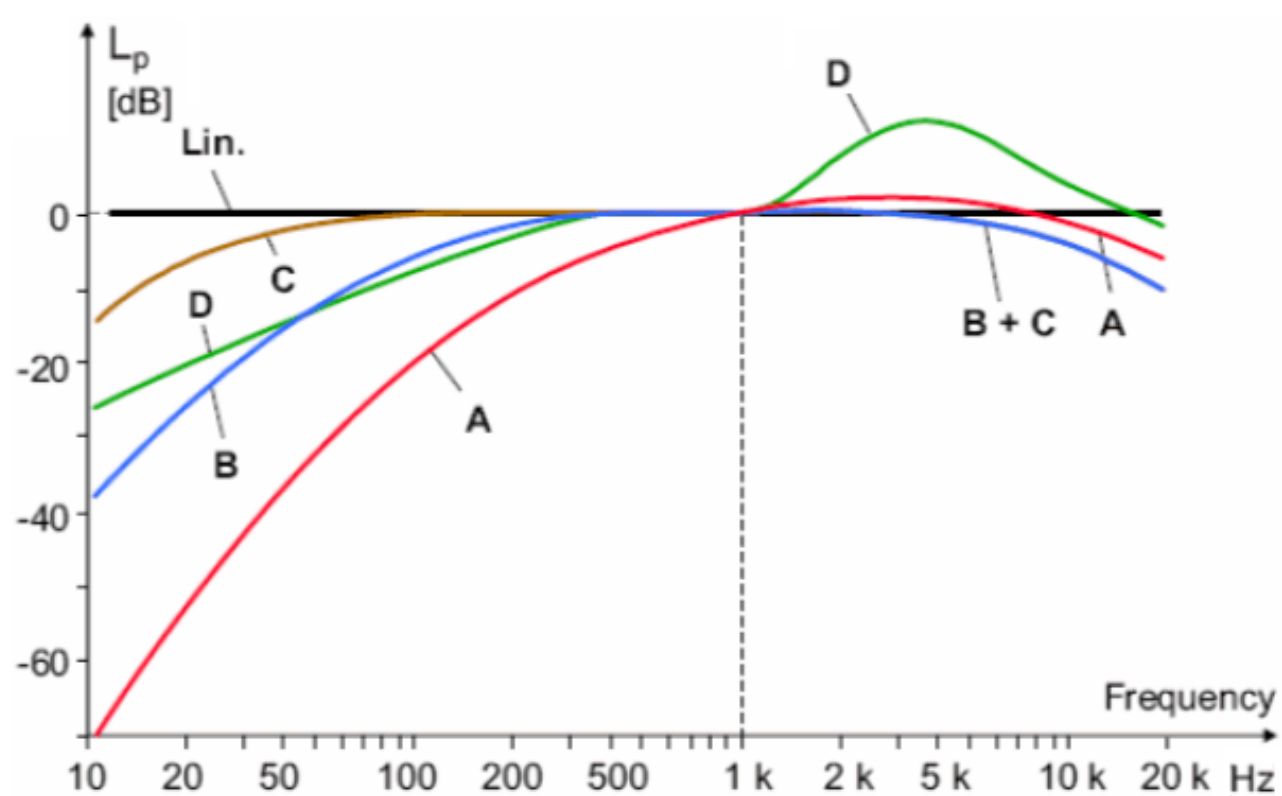
A、B、C 三种计权网络特性，分别对应于倒置的 40、70、100Phon 等响曲线（1000Hz 归一化到 0dB），其作用是分别反应人耳对低、中、高声压级的响度感觉。A 计权被证实是人耳对声压级主观反应的极好校正。对由 A 计权测量的声级称为 A 声级，记作 L_{PA} 或 dB(A)。近来 B 计权、C 计权已很少采用。

A 计权：40Phon 等响曲线的翻转，模拟 55dB 以下低强度噪声特性。

B 计权：70Phon 等响曲线的翻转，模拟 55~85dB 中等强度噪声特性。

C 计权：100Phon 等响曲线的翻转，模拟高强度噪声特性。

D 计权：专用于飞机噪声的测量。



标准计权曲线

等效连续声级

在评定间断的、脉冲的或随时间变化的不稳定噪声时，用一段时间内能量平均的方法表示噪声大小，称为等效连续声级。用符号 L_{eq} 表示，等效连续 A 计权声压级用 L_{AeqT} 或 L_{AT} 表示：

$$L_{AeqT} = 20 \lg \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt \right]^{1/2} / p_0 \quad (\text{dB})$$

T —总测量时间, $T=t_2-t_1$

$P_A(t)$ —A 计权瞬时声压

可用同样公式计算非 A 计权声压级信号 $P(t)$ ，得到 L_{eq} 。

声暴露和声暴露级

在规定时间间隔或过程内，随时间变化的频率计权声压平方的时间积分。A 计权声暴露，用符号 E_A 表示。

$$E_A = \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt \quad (\text{Pa}^2 \text{s})$$

对于工作场所的噪声暴露测量，用帕平方小时为单位会更方便。

与 E_A 对应的 A 计权声暴露级用 L_{AE} 表示：

$$L_{AE} = 10 \lg \left[\frac{\int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt}{p_0^2 T_0} \right] = 10 \lg \left(\frac{E_A}{E_0} \right) + L_{AeqT} - 10 \lg \left(T / T_0 \right) \quad (\text{dB})$$

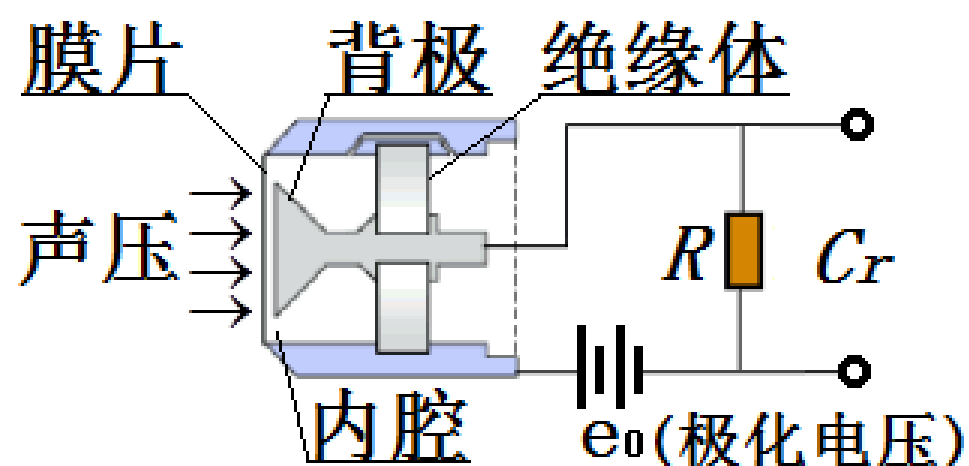
T_0 —基准时间间隔，1s

E_0 —基准声暴露， $E_0 = p_0^2 T_0 = 400 \times 10^{-12} \text{ Pa}^2 \text{s}$

传声器

电容传声器

金属膜片感受声压变化发生振动，与背极板之间的电容随之变化。在极化电压 e_0 的作用下，负载 R 上产生与声压成比例的交变电压。现在膜片厚度可做到 $5\mu\text{m}$ ，两极距离可做到 $20\mu\text{m}$ 。



驻极体传声器

用驻极体材料做成的电容传声器，有两种结构：

- a、用驻极体高分子薄膜材料做振膜
- b、用驻极体材料做背极板

市售 ICP 传声器是内置前置放大 IC 电路的驻极体传声器，可以与 ICP 加速度传感器用同一个电源（如 DC 24V 供电）。

传声器的保养

连接传声器时，确保所有设备处于关闭状态，绝不在电源打开的状态连接传声器。

小心操作，使膜片远离灰尘和其它物体，绝不触摸膜片。

在干燥的地方保存，推荐使用自带保存盒，不要将传声器

暴露在过湿、过冷和过热的环境中。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/016153234033011010>