



声学定义和音高单位

一、什么是声学

声音是人类最早研究的物理现象之一，声学是物理学中历史最悠久而当前仍在前沿的分支学科。声学，英文 Acoustics，指研究机械波的产生、传播、接收和效应的科学。

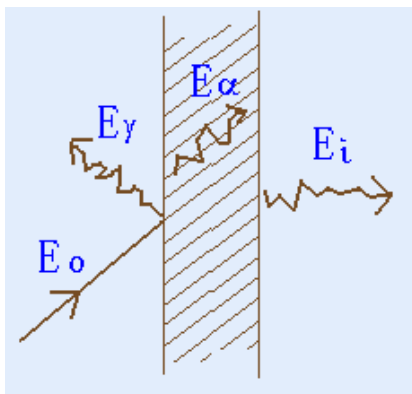
声学作为一门跨层次的基础性学科，研究从微观到宏观、从次声（长波）到超声（短波）的一切形式的线性与非线性机械波现象。随着 19 世纪无线电技术的发明和应用，声学研究方向已出现很多分支：基础声学、环境声学、非线性声学、量子声学、分子声学、次声学、超声学、光声学、电声学、热声学、建筑声学、语言声学、物理声学、生物医学声学、水声学、大气声学、海洋声学、地声学、生理声学、音乐声学及声化学等。

二、声音的产生和传播

声音是物体产生的机械波，通过空气传播到耳朵，例如：人说话通过声带的振动。

声音传播通常通过空气。一个鼓面或声带等的机械波传递到附近的空气，这些粒子把机械波又传递到更远的地方，这样连续传递直到最初的声能渐渐耗尽。压力向邻近空气传播的过程产生我们所说的声波。

声波在传播过程中，在介质间会有声波能量的反射、吸收和穿透。见图 1 声波碰到室内某一界面后传播解剖图：当声波（ E_o ）碰到室内某一界面后（如天花板、墙壁），一部分声能被反射（ E_r ），一部分被吸收（主要是转化成热能）（ E_a ），一部分穿透到另一空间（ E_i ）。



$$E_o = E_r + E_a + E_i$$

其中：

1、透射系数： $\tau = \frac{E_i}{E_o}$

2、反射系数： $\gamma = \frac{E_r}{E_o}$

3、吸声系数：

$$\alpha = 1 - r = 1 - \frac{E_r}{E_o} = \frac{E_a + E_i}{E_o}$$

图 1 声波碰到室内某一界面后传播解剖图

三、声音的强度

声音的强度，形象也称为响度、音高或音程，取决于机械波的振幅：譬如用



力地敲一根弦时，这根弦就大距离地向左右两边摆动，由此产生强机械波，发出一个响亮的声音；而轻轻地敲一根弦时，这根弦仅仅小距离左右摆动，产生的机械波弱，而发出一个微弱的声音。声速一定时，声音的高低强度取决于机械波的波长，较短的空间产生的波长较短，较长的空间产生的波长较长，如小音箱比同类型的大音箱波长短，音调高。同样的道理，短弦的发音比长弦高；个子矮的人比个子高的人声音高等。

声压和声强有密切的关系，在自由声场中，测得声压和已知测点到声源的距离，就可计算出该测点之声强和声源的声功率（声能）。

$$I = \frac{P^2}{\rho_0 c}$$

P -- 有效声压 N/m^2
 ρ_0 -- 空气密度 kg/m^3
 c -- 空气中的声速, m/s
 $\rho_0 c$ -- 介质的特性阻抗, 在 $20^\circ C$
 其值为 $415 N \cdot s/m^3$

声行波强度用单位面积内传播的功率（以 W/m^2 为单位）表示，但是在声学测量中，有时功率不易直接测量得到，所以有时会用压强差（又称声压）代替声强来表示强度。

3.1、**声压级 L_p** : 取参考声压为 $P_0=2 \times 10^{-5} N/m^2$ 为基准声压，任一声压 P 的 L_p 为:

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0} (dB)$$

声强 I 与声压 P 的关系式中， Z_c 是媒质的声特性阻抗， $Z_c = \rho c$ ，即在相同温度和压强下，声强与声压的平方成正比，比例系数受温度、介质压强和介质属性的影响。声压增加 10 倍，声强则增加 100 倍，分贝数增加 20。所以声压为其基准值的 100 倍时，声强级是 40dB。在使用声强级或声压级时，基准值必须说明。在空气中， $\rho_0 \approx 400$ ，声强的基准值常取为 $10^{-12} W/m^2$ ，与这个声强相当的声压基准值约为 $20 \mu Pa$ （即 $2 \times 10^{-5} N/m^2$ ，会受温度影响），这大约是人耳在 250Hz 所能听到的最低值。这时声强级为 0dB（这是在空气中，并选择了适当的基准值情况下）

人耳听觉下限: $p=2 \times 10^{-5} N/m^2$, L_p 为 0dB;

能量提高 100 倍: $P=2 \times 10^{-3} N/m^2$, L_p 为 20dB;

人耳听觉上限: $P=20 N/m^2$, L_p 为 120dB。

3.2、**声功率级 L_w** : 取 W_0 为 $10^{-12} W$ 为基准声功率级，任一声功率 W 的声功率级 L_w 为:

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} (dB)$$



3.3、声强级 L_I : 取 I_0 为 10^{-12}W/m^2 为基准声强, 任一声功率 W 的声强级 L_I 为 (dB):

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0}$$

在声学中常见的声强范围非常大, 所以一般用对数表示, 称声强级, 单位是分贝 (dB)。先选一个基准声强值, 一个强度等于其基准值 10000 倍的声, 声强级称 40dB, 强度 1000000 倍的声则强度级为 60dB。

3.4、声压级的叠加

几个声源同时作用时, 某点的声能是各个声源贡献的能量的代数和。因此其声压是各声源贡献的声压平方和的开根号, 即:

$$P = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_n^2}$$

声压级 L_p 为:

$$\begin{aligned} L_p &= 20 \lg \frac{P}{P_0} = 20 \lg \frac{\sqrt{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_n^2}}{P_0} \\ &= 20 \lg \sqrt{\left(10^{\frac{L_{p1}}{20}}\right)^2 + \left(10^{\frac{L_{p2}}{20}}\right)^2 + \dots + \left(10^{\frac{L_{pn}}{20}}\right)^2} \\ &= 20 \lg \frac{P}{P_0} + 10 \lg n \quad (\text{dB}) \end{aligned}$$

这样一来, 问题就来了: 声压级 $10\text{dB}+10\text{dB}=?$, $0\text{dB}+0\text{dB}=?$, $0\text{dB}+10\text{dB}=?$, 可不是简单的相加关系, 根据对数公式和上面分析, 答案应分别是: 13dB 、 3dB 、 10dB 。

也就是说, 两个数值相等的声压级叠加后, 像上面的 $10\text{dB}+10\text{dB}$ 和 $0\text{dB}+0\text{dB}$, 总声压级只比原来增加 3dB , 而不是增加一倍。

此外, 两个声压级分别为不同的值时, 其总的声压级为:

声压级分别为 L_{p1} 和 L_{p2} (设 $L_{p1} \geq L_{p2}$)

总声压级为:

$$L_p = L_{p1} + 10 \lg \left(1 + 10^{\frac{L_{p2} - L_{p1}}{10}} \right) \text{ dB}$$

以上叠加结论, 对于声强级 L_I 和声功率级 L_w 同样适用。