

基础知识

分贝

概念：

通常，在各种物理分析中，需要把两个数值的比较进行“级”的划分。一般情况下，在电子、声学技术中，把两个具有功率含义的量之比的对数值划分为“级”，得出的这个物理量叫做“贝尔”（bel），它是一个无量纲的物理量。

其简单表达式为 $\lg A/B$ （A、B 为任意两个功率单位）

但是，由于“贝尔”这个单位比较大，使用起来仍有不便，所以就起用了“贝尔”的 **1/10** 的概念：分贝，即 dB。

物理量： 分贝（dB）= $10 \lg A/B$

意义：

在电子技术和声学知识中，分贝的概念经常用到。从信号电平到增益量，从声压级到声强级，“分贝”这个词是一个中心，只有拥有了分贝这个标准，各种物理量的比较和计算才比较方便和准确。从数学方法上看，分贝这个物理量的意义就在：将变化很大的相对值，用变化量很小的值来表达。

尤其是在电声领域中，分贝这个量的变化关系恰恰和人耳的听觉强弱感受非常吻合，这也给声学计算打下了一个良好的基础。

表达式：

分贝这个概念可以表达多个物理量，就是说它是多个物理量的单位。常见的有下面几种表达方式

$$\textcircled{1} \text{ 电压增益分贝值 } = 20 \lg U_2 / U_1 \quad (\text{dB})$$

$$\textcircled{2} \text{ 电流增益分贝值 } = 20 \lg I_2 / I_1 \quad (\text{dB})$$

$$\textcircled{3} \text{ 功率增益分贝值 } = 10 \lg W_2 / W_1 \quad (\text{dB})$$

从该式中我们可以看出，若 $W_2 = 2W_1$ ，那么 W_2 和 W_1 的功率比就是 3dB。这就是平常所说的：音响系统的功率增加一倍，换来的声压级增加是 3dB。

$$\textcircled{4} \text{ 声压级分贝值 } = 20 \lg P / P_e \quad (\text{dB}) (P_e \text{ 为基准声压})$$

$$\textcircled{5} \text{ 声强级分贝值 } = 10 \lg I / I_e \quad (\text{dB}) (I_e \text{ 为基准声强})$$

由这些物理量引申出的多个量也用 dB 为单位，主要有：

电平 (dB)、信噪比 (dB)、灵敏度 (dB)、隔离度 (dB)、滤波器衰减率 (dB/oct)、动态范围 (dB)

分类说明：

由于分贝概念非常重要，使用场所也很多，为了计算方便，下面直接将电压、电流比、声级比、功率比的分贝值列表如下：

电压、电流、功率比的分贝值

阻 抗

概念：

阻抗是一个比较复杂的概念，在直流电路中，由于信号和电路特性都是线性的，所以只有电阻的概念；但是在交流电路中，由于存在信号频率的原因，电感和电容对信号就起了一定的作用，一般就把感抗、容抗、电阻的综合作用参数叫阻抗。

通常可以将阻抗表达为：放大电路中，感抗、容抗、电阻信号的综合作用下表现出的一种电阻特性。一般用电阻的单位欧姆 Ω 表示。

意义：

阻抗和意义很重要，在几乎所有的设备中，很多重要的参数和配置都与阻抗有关。比如：功放的输出功率、输入输出形式等。如果相连的两个设备阻抗不匹配，就有可能产生电气指标下降、音质变劣甚至设备受损的故障。

表达式：

在电气设备中，阻抗表现形式有很多种。对于象话筒、耳机、音箱等电声类设备，由于它们都是单纯的能量转换设备，所以通常它们涉及的阻抗只有一种，即通常所指的交流阻抗。不过，话筒、耳机、音箱的类型不同，其阻抗的成分也不同。对于纯电阻特性的设备，比如：早期的碳粒式话筒，它的直流电阻就是它的阻抗。而现代的电声器材都存在感抗和容抗特性，这种特性在交变电流中呈现的电阻是完全不同的，所以只有用交流电阻才能正确表达它们的阻抗（通常，这类设备的额定阻抗是用频率为 **1KHz** 的信号测得的标准值）的特性。

- 1、像电磁式、动圈式话筒和音箱这类感抗性设备，它们的交流阻抗可表达为：

$$Z=R^2+$$

式中 R 为直流电阻 (Ω) L 为线圈电感 (H) ω 为圆频率= $2\pi f$ (f 为频率 Hz)

从式中可以知道，音箱和动圈话筒和阻抗特性曲线是随着频率变化的。

- 2、像电容式话筒这类容抗性设备，其交流阻抗可表达为：

$$Z=$$

式中 C 为电容 (F) π 为圆频率= $2\pi f$ (f 为频率 Hz)

但是由于一般电容式器件的电容量很小，相应它们的交流阻抗就很高，这在电声设备虽很适用的。

为了方便地和其它设备达到阻抗匹配，一般都在电容话筒里设置阻抗变换器，将其阻抗变换到适当的数值。

- 3、对于像调音台、周边设备、功放等电——电设备，它们的阻抗主要涉及其输出、输入阻抗。根据多级放大器的等效电路分析方法（许多电声设备内部都是由各种类型的放大电路组成的）。

其输入电阻可以表达为： $R_i = h_{ie} + (1 + h_{fe})R_L$

式中 R_L 为发射极电阻与负载电阻并联后的等效电阻

h_{fe} 为放大器的短路放大系数

h_{ie} 为放大器的短路输入电阻

输出电阻可以表达为：

式中 h_{ie} 为放大器的短路输入电阻

h_{fe} 为放大器的短路放大系数

R_S 为信号源内阻

由此可见，电声设备的阻抗是一个比较复杂的参数，它在具体的应用中很重要。通常，阻抗参数由厂家直接给出，它是一定条件下测得的具体值。

分类介绍：

在音响设备中，除电——声转换设备外，一般都存在输入和输出阻抗，它们和设备内部放大器的特性有关。

由放大器电路分析可知：为了尽量充分利用输入信号，设备和输入电阻都很高；而为了提高设备的驱动能力，其输出阻抗都比较低。

对于话筒，一般我们都把它看成一个电压源，所以为了保证话筒信号能长距离、高质量、高效率地传输，通常话筒都是低阻抗型的，一般其阻抗在 $200\ \Omega$ 左右。相应地，要求与其相连设备的输入阻抗至少应该在 $1K\ \Omega$ 以上。

对于音箱，它的阻抗可以看成是在其工作频带内对放大器呈现出的最低欧姆数。所以一般所指的 $8\ \Omega$ 、 $4\ \Omega$ 、 $2\ \Omega$ 仅仅是它的特性曲线上平坦部分的某一个数值（在谐振峰之后）。

对于功放和其它周边设备，经常涉及它们的输出阻抗。通常要求其输入阻抗要高，以便充分、高效地利用上级设备提供的信号。现代音响设备的输入阻抗都在几 $K\ \Omega$ —几十 $K\ \Omega$ 之间；而输出阻抗要尽量低，以便尽量地将信号更好地提供给下级设备使用，现代音响设备的输出阻抗都在几十 Ω 以下。由于功放驱动的下级设备——音箱的阻抗很低，所以功放的输出阻抗就更低了，一般在百分之几欧以下，否则它很难驱动 $8\ \Omega$ 甚至 $2\ \Omega$ 的音箱。

灵 敏 度

概念:

在音响设备中，器材的电——声或声——电转换能力的大小称为器材的灵敏度。在实际使用中，设备的灵敏度是在一定的声场中，该设备产生的开路输出电压或对一定负载的输出功率，或者在一定的输入电平（功率）下，该设备在一定位置上所产生的声压级。

意义:

音响设备的灵敏度是一个非常有用的指标，音响师和工程技术人员经常需要它来计算录音或扩声增益、电平、选择话筒、确定系统的功率配置和扩声声压级以及系统的连接方式、端口设置等等。如果灵敏度的概念在音响技术中被忽视，可能出现设备失真、动态不足、声压级不能满足要求、设备负荷过重以及其它声音指标受到影响。

表达式:

在音响设备中，狭义的灵敏度概念主要涉及的电声设备有话筒、音箱；涉及的电气设备有功放、调音台及周边设备。

①根据采用的单位和连接负载的不同情况，常见的话筒灵敏度有开路灵敏度和有载灵敏度。

a、开路灵敏度规定：在单位声压作用下，话筒的开路输出电压： $E = V / P$

其中 E 为开路灵敏度，单位可以是 mv/u pa 或 mv/p，也可以是 v/pa

V 是开路电压，单位是 v 或 mv

P 是话筒振膜上的声压，单位是 u bar 或 pa

如果以 dB 的形式表示，开路灵敏度可以表示为： $E = 20 \lg V/P - 20 \lg V_0/P_0$ (dB)

其中 V_0 和 P_0 为基准值，即 $V_0/P_0 = 1v/u \text{ bar}$ 或 $1v/pa$

基准值的单位不同，所得到的开路灵敏度的计算结果也不同，我国一般采用 mv/pa 或 v/pa 为单位。

可见用 dB 表示的灵敏度必须注明基准值（即 0dB 值是以 v/u bar 还是以 v/pa 为单位），否则灵敏度标注将没有参照价值。

B、有载灵敏度是灵敏度的功率表示法。它是指在单位声压下话筒输出端在额定负载上的输出功率，单位是 mw/u bar，一般取额定负载为 600 Ω 。

通常还可以采用 dBm 来表示电功率灵敏度，这时候的基准值是 1mv/u bar。

同时话筒的灵敏度还和测取的频率点有关系（一般取 1KHz），这种灵敏度称为某频率灵敏度；如

果在一定频率范围内取平均值，就称为平均灵敏度。

话筒灵敏度概念还涉及声压的问题，如果是利用声场中某点的声压值计算的，就称为声场灵敏度；如果是直接利用话筒振膜上的声压计算的灵敏度，就称为声压灵敏度。通常我们使用的声场灵敏度，这时话筒灵敏度标注为： $- \times \times \text{dB}$ 或 $\times \times \text{mv/u bar}$ （空载、自由场、1KHz）。

② 音箱的灵敏度类似于话筒，最早的定义中，它被定义为：单位电压作用下音箱产生的声压值。

$$\text{即} \quad E = P / V$$

但是这个定义没有将输入电压结合扬声器的阻抗来考虑，也就使得灵敏度失去了参照价值；同时，音箱的灵敏度需要反映出它对具体功率的信号转换能力，而不是电压信号的转换能力，所以为了更好地表征音箱的机电转换能力，一般规定在音箱上施加一定功率的信号后，在一定距离上测得的声压级，称为音箱的灵敏度，即 dB/m/W 。

通常将音箱在 1W 输入功率下在其轴向正前方 1 m 处产生的声压级，称为其灵敏度。

同样，音箱的灵敏度与信号频率有直接关系，而且还与信号的类型有关系。是 1KHz 还是 500Hz 的灵敏度，是粉红色信号还是正弦波信号，音箱的灵敏度值都有不同的标注。

输入输出电平

音响设备的输入输出接口一般都有电平值标记或选择键，比如： 0dBm 、 0.775v 、 $+4\text{dB}$ 、 0dBu 等等。其中，设备输入接口处的电平值一般就是该设备的输入灵敏度，所以某些时候输入输出电平标注可以归为灵敏度范畴。但并非所有接口电平都具有灵敏度的含义。

设备的输入电平值表示该设备允许输入的信号电平值（多数时候有额定值和最大值）。一般情况下，在额定电平值（ 0dB ）输入信号时，该设备具有额定的输出值（可能是功率，也可能是电平）。

一般情况下，规定：

输入电平基准为 $0.775\text{v} = 0\text{dB}$

有时又标注为 0dBu 和 0dBm （见后）。

通常，设备的输入电平一般都与其输入灵敏度有密切的联系。各个设备和输入电平或某种模式下的额定输入电平范围可能不同（即灵敏度不同），有的只标注 0dB ，有的有 -10dB 和 $+4\text{dB}$ 或 $+10\text{dB}$ 供选择。通常要根据设备或系统的情况来统一设定，否则如果输入信号电平值低于输入灵敏度，就会造成该设备输出功率或电平不足；如果输入信号电平值超出该设备输入电平范围，就会造成设备输出失真。

设备的输出电平与输入电平情况类似，但是设备输出电平对连接的负载阻抗要求更具体。

一般情况下，输出电平规定的 $0.775\text{v} = 0\text{dB}$ 是以一定阻抗的负载为前提的（一般取 600Ω ）。

如果负载阻抗增加，输出电平值还有可能提高。

同样，设备的输出电平值也有几种，有 0dB 的，有+4dB 的、还有+10dB 的，但这和灵敏度没有联系。

至于 0dB 和 0dBu 有什么不同，一般情况下规定：

0dBm 是在 600 Ω 负载上得到的电平值为 0.775V，即在该负载上得到的功率是 1mW。

这就是一般所说的灵敏度的功率表示法，这里的 m 是指毫瓦级的功率电平。

0dBu 是在开路情况下，该设备输出口得到的电平值为 0.775V。

另外，还有一些输入输出电平是以 DBV 和 DBU 的形式表示的，一般规定：

$$0dBv=1.0V$$

$$0DBu=1.0uV$$

从上面关于灵敏度和电平的分析、比较可以看出：各类设备的灵敏度在数值上有所区别，含义也有不同，同时基准参照值也不相同。即使是同一类型的设备，它们的灵敏度在数值上可能也有很大差别。

话筒方面：

一般动圈话筒的灵敏度要低些，通常为：0.2 mv/pa \sim 几个 mv/pa

而电容话筒的灵敏度要高些，通常为：几个 mv/pa \sim 十几 mv/pa 甚至几十 mv/pa

但是铝带式电容话筒的灵敏度要低些。

音箱方面：

一般高音扬声器的灵敏度高些，有的可以达到 100dB/m/W 以上（这就是为什么音箱中要增加高音衰减网络的原因）；

通常低音扬声器的灵敏度要低些，低的可能只有 80 dB/m/W 左右。

对于其它设备，一般输入灵敏度都是以 0dB 为基准的，但少数设备有-10dB 和+4dB 可以选择。而最大输入输出电平的情况就差别很大了，在不失真的情况下，有的可能是+10dB，+15dB，也有可能+24dB，+32dB 甚至更高。

增 益

概念：

在电子技术中，放大器的输出信号比输入信号增高的倍数叫做放大器的放大倍数，通常称为增益。它是放大器对信号放大能力的主要指标。

通常，由于放大器的放大倍数较高，用线性数字表示不太方便，所以常常用对数值表示增益，这样可以在变化较小的对数值表达出较大范围内的线性值变化；使用对数值表示增益的原因还在于：

声音信号的放大倍数和人耳的听觉变化感受是符合对数关系的，所以在通信和音响技术中，增益用放大倍数的对数值来表示。

意义：

增益的意义在于，它明确地表达了放大器对信号的放大能力，无论该放大器是功率放大器还是电压放大器（前置放大器）。

表达式：

各种增益的表达式有所区别，具体表示为：

$$\text{功率增益 } G_P = 10 \lg P_2/P_1 \text{ (dB)}$$

$$\text{电压增益 } G_V = 20 \lg U_2/U_1 \text{ (dB)}$$

$$\text{电流增益 } G_I = 20 \lg I_2/I_1 \text{ (dB)}$$

另外，以下概念也类似于增益：

$$\text{声压级 } L = 20 \lg P_1/P_0 \text{ (dB)} \quad P_0 \text{ 为基准声压 } 0.0002 \text{ dN/cm}^2$$

$$\text{灵敏度 } = 20 \lg U_1/U_0 \text{ (dB)} \quad U_0 \text{ 为基准电平 } 0.775 \text{ V}$$

说明：

由增益的概念我们很容易联想到了声压级、灵敏度等概念。确实，像声压级、灵敏度等涉及到信号变化倍数的概念都可以看成是一种增益，只不过声压级是任意声压相对于基准声压的变化倍数；而灵敏度是相对于基准是平而言，设备的电——声或声——电转换（放大）能力，所以声压级、灵敏度等许多参数的单位也都是分贝 dB（有的设备的灵敏度直接用电平表示）。

对比增益和分贝：增益是主要表示同一个信号的经过处理、放大后，与原信号形成的一种变化量（级差）；而分贝反映的是任意两物理相比较后形成的一种变化量（级差），所以从这点来看增益和分贝的含义是相似的。

频 响

概念：

无论任何用途的电声设备，都需要对其工作频段进行限定。在规定的频率范围内，设备对不同频率信号具有相应的放大（处理）能力，这种范围就叫设备的频率响应，简称频响。

意义：

频响的概念规定了设备的有效工作范围，超出这个范围，设备就会失真或损坏。可见，频响是

对设备有效工作条件的限定。

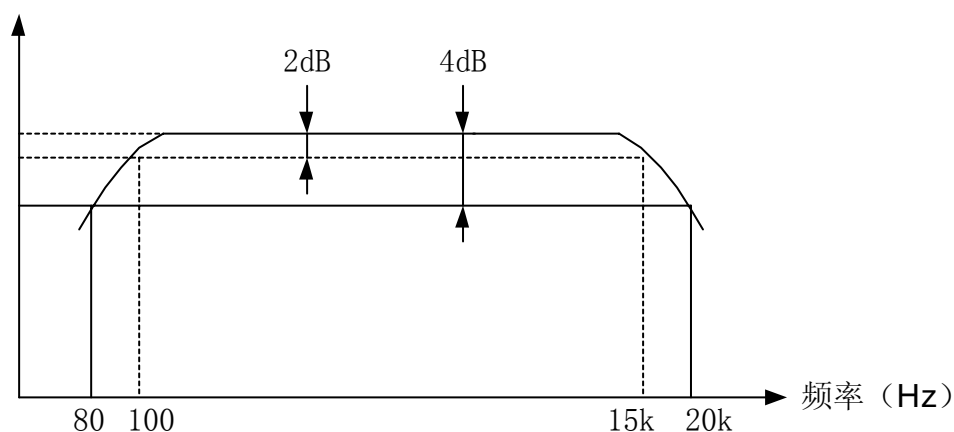
表达：

在频响的概念里，频率是中心，而放大处理能力是限定（增益），所以在电声设备中，频响一般表示为：

$$\times\times\text{Hz}\sim\times\times\text{Hz}(\pm\times\text{dB})$$

这里的 $\pm\times\text{dB}$ 是控制频响范围的关键标注

由此可以看出频响是受增益范围的限制而有所变化的，增益限制越宽，频响也越宽；增益限制越小，频响也越窄。如图所示：



由图示可以看出：原来 $100\sim15\text{kHz}(-2\text{dB})$ 的频响标注，很容易标注为 $80\sim20\text{kHz}(-4\text{dB})$ ，所以说频响的标注如果没有增益的限定是不科学的，也是没有意义的。

说明：

对于电——电设备，一般优质的功放、调音台和周边处理设备的频响都可以达到：

$$20\sim20\text{kHz}(0.5\text{dB}\pm\text{或}\pm1.0\text{dB})$$

对于电——声设备，一般话筒和音箱的频响可以达到：

$$\text{几十Hz}\sim\text{几、十几或几十kHz}(\pm1.5\text{dB}\text{或}\pm3\text{dB})$$

显然，某些设备上标注的频响范围太宽，以至于完美无比时，这时它的 $\pm\text{dB}$ 数都不标，或者有的标注成 $\pm\sim10\text{dB}$ 等，这样的参数显然是没有意义的。

失真

概念：

在电气设备中，信号的传输过程使得信号的输出特性与输入特性相比发生变化和差异，这种变

化和差异总称为失真。

意义：

在电声领域里，失真的概念具有重要的意义，失真参数能在很大程度上反映设备性能的优劣；也在很大程度上规定了设备的使用环境和条件，甚至可以这样说：超出了规定的环境和条件，设备的失真会迅速增大，这种增大值远远超出技术参数规定的范畴，带来的设备性能恶化也是无法预料的。

表达式：

通常设输入电压频率为 f_1 ，输入信号电压为 U_i ，输出电压中 f_1 的分量 U_{O1} ，高次谐波失真分量为 U_{O2} ， U_{O3} …… U_{On} ，则

$$n \text{ 次谐波失真系数 } D_n = U_{On}/U_{O1} \times 100\%$$

而总谐波非线性失真为

由于采用优良的负反馈电路，在现代电声设备中，除了话筒的谐波失真可能在百分之几的数量级以外，其它设备的谐波失真都可以做到千分之几，甚至万分之几的水平。

在一般的电声设备中，比较有价值的失真指标是谐波失真（非线性失真），频率失真（线性失真）。

频率失真是指：由于放大器对不同频率信号的增益不同而引起的失真，它与输入信号的幅度无关，主要表现在随输入信号的频率变化而呈现出的不均匀性。频率失真较重的设备明显表现出在某些频率段的信号走样。一般情况下，音箱具有几个 dB 的失真，人耳是听不出来的；而其它现代电声设备在普通听音频率范围内的频率失真已经非常小了。通常所指的线性失真就是频率失真。

非线性失真是指：放大器的输出信号中产生了输入信号中所没有的谐波成分。也就是说失真产生时，放大器的输出特性不是线性的，它的斜率不是固定不变的，而是变化的（增益不是常数），这种失真就是非线性失真，一般用 D 来表示。通常，在输出信号中，除了具有输入信号频率的分量信号外，失真还产生高次谐波分量，这就是谐波非线性失真。

非线性失真包括振幅非线性失真，相位非线性失真以及同步信号非线性失真（视频电路）。

功 率

在电声调和中，几乎每件设备都会涉及功率的概念，但是除了功放和音箱以外，其它设备主要是电压放大类或信号分配类设备，功率指标在它们的电声指标里不是很重要，这里指的功率主要是与功放和音箱有关的功率概念。

功放和音箱和各种功率概念对于正确选择、使用设备十分重要，清楚各种功率概念后才能正确根据设计要求（声压级、灵敏度、阻抗等指标），来决定功放和音箱的搭配；也只有清楚各种功率概

念后才能正确操作，使设备在正常的状态下稳定工作；功率的配置合理性还对系统音质有一定影响。

表达式：

一般情况下，功放和音箱和功率都可以简单表达为： $P = U^2/R$ 或 $P = I^2R$

其中，U 为有效输入或输出电压，I 为负载上的有效电流，R 为负载的阻抗

由此可见，功率与电压（电流）和阻抗是密不可分的。在功放中，功放的增益决定了信号的放大倍数，也就影响了其输出的电压值，从而决定了该增益下功放的额定输出功率。这里所指的额定，指的是在一定阻抗、一定失真限制下，功放的输出值；而音箱是一个电——声转换设备，是被动地接收信号，功率概念是与它的阻抗和流地音圈上面的电流有关的，所以音箱的功率应该称其为功率承受力，即在一定阻抗下，音箱（音箱）对流过其内部的电流的承受能力。

特别需要注意的是：功率指标是一个标定值，是测试后得到的结果，显然，测试条件、测试信号的类型也决定功率的标注。

分类说明：

对功放和音箱来讲，它们的输出功率和功率承受力是它们的电声指标中的重要参数。但是由于规定的条件不同、测试标准不同，这些功率的称呼也有所不同，甚至数值上有很大差异。

① 功放

功放的输出功率标定值一方面受额定值影响，一方面受失真的影响，另一方面还受测试信号的峰值系数影响。

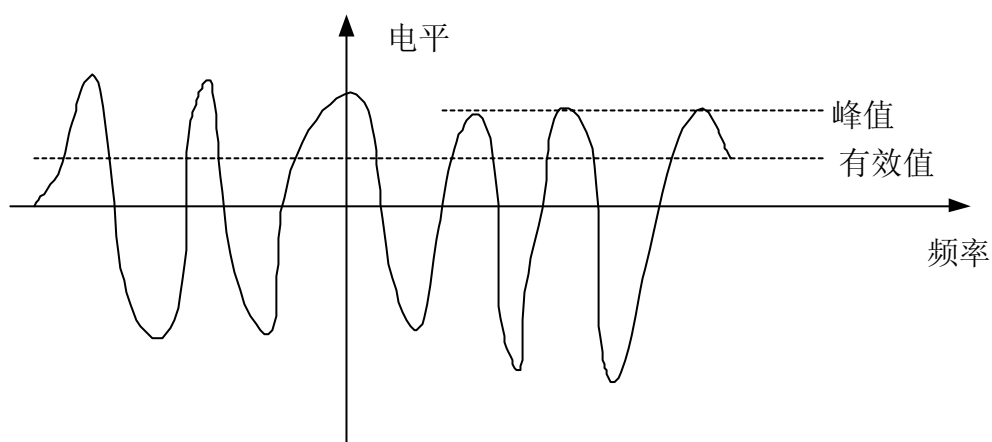
在额定值下，如果不考虑失真和测试信号的类型，功放在最大增益处的输出功率就是标称功率。比如：一般标注为 8 Ω 200W、4 Ω 400W 或桥接 8 Ω 350W 的功放，就是指在某阻抗下，该功放一个声道的最大额定功率。增益衰减后，在同样阻抗下，功放的输出功率也会降低，这就是为什么标称 8 Ω 200W 的功放推 8 Ω 100W 的音箱，原则上不存在什么问题的原因。

在失真率因影响下的输出功率可能发生很大的变化，所以一般对功放输出功率的标注都要强调失真。

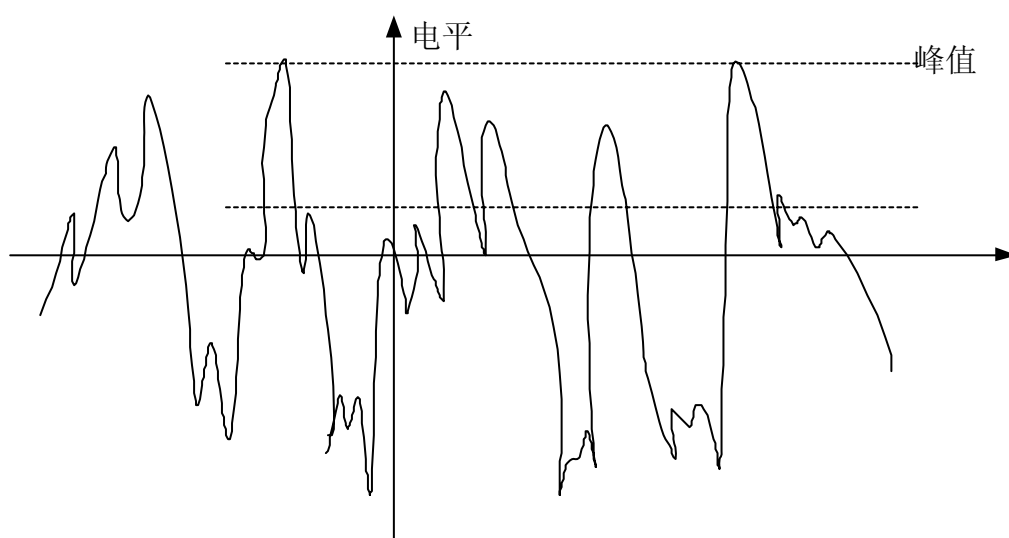
比如：标称为 8 Ω 不失真功率为 200W 的功放（其实是在规定的失真范围内），如果失真率上升，超过规定值后，功放的输出功率可以达到一个较高值（尤其是高频谐波功率会迅速增大）。这就是为什么功放和音箱搭配不当，容易产生失真，导致设备损坏的原因。

在测试信号因素作用下，功放的输出功率将直接受信号的峰值系数影响。比如：标称为 8 Ω 200W 的功放（正弦波信号），如果用峰值系数很高的粉红色信号来测试，在不产生信号失真的前提下，它的有效输出电平将降低，显然它的输出功率值也将降低。这里的峰值系数是指：信号的峰值电平

与有效电平值的差或比值，如图所示：



正弦波信号的峰值与有效值关系

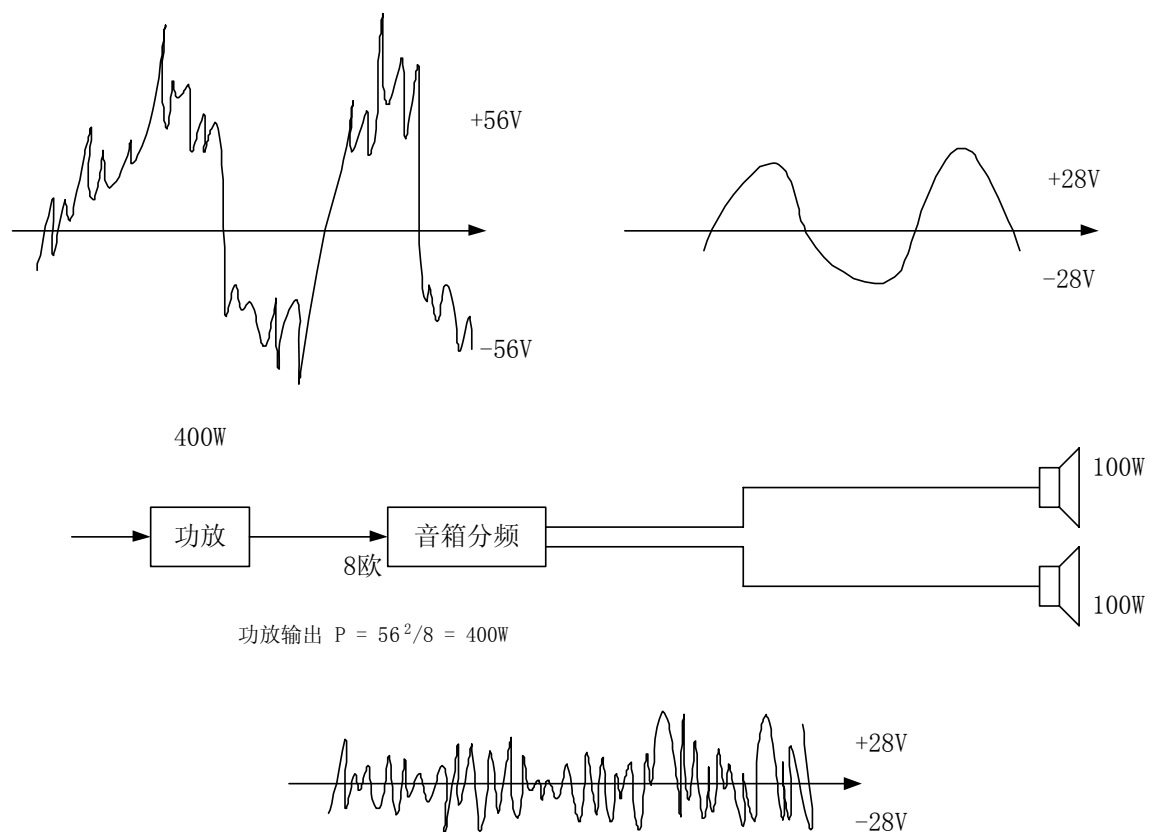


粉红色噪声的峰值与有效值关系

显然粉红色噪声信号的峰值系数要远远高与正弦波信号。这就是为什么相对于无源分频来讲，使用同样的高低音音箱，要达到同样声压级的要求，电子分频系统对功放的输出功率要求要低于普通的无源分频扩声系统，也就是说，电子分频方式相当于降低了功放的输入信号的峰值系数，使得功放没有必要具有很高的不失真电压输出能力。

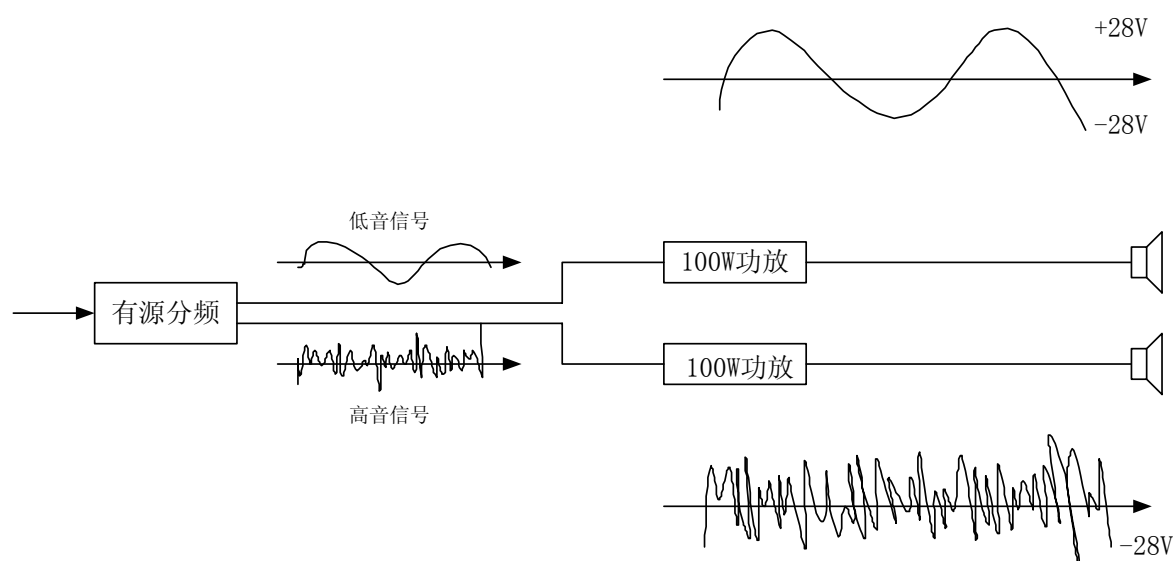
比如：同样是高、低音分别需要 100W 的功率信号，无源分频和有源分频对功放的功率要求就有所区别，如下图所示：

无源分频方式



在无源分频时，输入功放的信号是低音和高音的混合调制信号，具有较大的峰值系数，因此功放就必须能容纳这种峰值系数较高的信号（增益足够，且输出信号不削波），当然它应该具有较高的电压输出能力（56V），也就是说功放的功率必须选大一些的。

有源分频方式



在有源电子分频时，由于前级分频器已经将输入功放的信号分成单独的高、低音信号，它们各自的峰值系数比高低音复合信号都要低，这样高、低功放就不需要具有较高的电压输出能力（只需分别具有 28V 输出），当然功率也可以选择小一些的了。

② 音箱

音箱的功率承受能力（或功率消耗）一方面受阻抗影响，一方面受音圈的载流能力的影响，另一方面受测试信号类型的影响。同时由于音圈运动位置、机械动作（行程）的限制，音箱的功率力还受信号带宽的影响。

在阻抗因素中，音箱的功率消耗大小将直接由阻抗大小来体现。比如：一个标称 8Ω 下额定输出为 200W 的功放配接阻抗为 8Ω 的音箱，那么在音箱上得到（消耗）的功率应该在 200W 左右，但如果将音箱换成 16Ω 的，那么音箱上得到（消耗）的功率将成倍下降了，显然音箱（负载）的阻抗限制了功放的输出功率，从而间接决定了音箱自身的功率消耗。

在音圈载流能力因素中，音圈本身在正常条件工作状态下的电流通过能力直接关系到音箱的功率承受能力。

比如：同样是 8Ω 的两只音箱，如果其它条件完全相同，而一只音圈线圈粗，一只音圈线圈细些，这两只音箱的电流承受能力就会不同，当然音圈线圈粗的音箱电流承受能力强，那么这只音箱的功率承受能力就大些，这就是一般说的这只音箱的功率大些，那只音箱的功率小些。

通过上面两点，我们可以看出：阻抗指标在音箱参数中的重要性要强于单纯的功率指标。或者可以这样讲：仅从安全合理性上看，只要阻抗匹配得当，相同阻抗不同功率的音箱是可以在连接上

互换的；而功率相同阻抗不同的音箱是不能随便互换的。当然，阻抗和音圈载流能力指标不是理论上那么简单，因为一个音圈要达到很低的阻抗（比如 4Ω ）、很大的电流承受力（比如能承受 $1200W$ ），理论上可以做到，但是在如此大的功率下，音盆的位移会很大、音圈的发热会很严重、振动也很大等等，这时，既要想音箱单元能承受这样的工作条件，又要达到较高的音质，就不是那么容易做到的了。比如音圈材料，比如散热技术，比如音圈与骨架的粘接材料性能等等，这些都与材料科学的发展密切相关。

在测试信号因素中，音箱的功率承受能力会因为信号的不同，而达到的额定值和最大值有所不同。在这点上，各国之间，甚至同一国家不同厂家之间的测试标准都可能不一致，称呼也五花八门，有额定功率、最大功率、峰值功率、最大峰值功率等等。所以，迄今为止，国际上对音箱的功率承受力会有很多不同的标注方式，同一只音箱按照不同的标准来标注，得到的结果会有很大差别。

一般情况下，音箱的测试信号都采用正弦波信号或者粉红色信号，显然，由于正弦波信号的峰值系数要小于或粉红色信号，那么同一只音箱对正弦波信号的功率承受力肯定要高于粉红色信号。比如：一个高音单元能承受 40 瓦的正弦波信号，但它也许只能承受 20 瓦的粉红色信号，所以，看音箱的功率标注，一定要看测试信号的种类。

通常情况下：

正弦波测试信号的峰值系数为 $3dB$ ，该信号下的峰值功率 = 2 倍额定功率；

粉红色噪声测试信号的峰值系数在 $6dB$ 以上，该信号下的峰值功率 = 4 倍额定功率；

而没有注明信号类型的所谓 **RMS** 连续功率（root - mean - square 均方根功率），是在音箱（扬声器）上加上 1 小时的正弦波测试信号得出的功率值，显然这样的功率测试标注法可靠性就差些。

为了进一步规范音箱（扬声器）的测试条件，使得标注结果更加客观更加可靠，一些电工组织规定了音箱功率承受力的测试时间、信号加注方式等条件，这些规定就成为各个测试标准。

比如：EIA（美国电子工业协会）**RS—426A** 标准中，规定一种类似粉红色噪声的测试信号加到音箱（扬声器），要求被测试的音箱能承受该信号很长时间，并且还要求该音箱（扬声器）能瞬间承受几倍于该信号功率的瞬时峰值而值不损坏，这样得出的值才是额定标称功率和峰值功率值。虽然测试出的结果要比用正弦波信号短时间测试后得出的值要低不少，但是实际使用中，这个标准测试出的值要可靠、安全得多，也更接近实际节目信号扩声的状况，这种测试结果得到的标注值，对设备的选型、功放与音箱的合理配置以及实际调音操作都具有非常重要的参考价值。下面是常见的一些测试标准、标称及它们之间的关系。

EIA RS—426A 标准：

信号类型：成型的随机噪声信号（连续粉红色噪声），具有 4 倍于平均功率的峰值，同时信号频

率需要根据扬声器的工作频带来选取。

测试时间：8 小时

标称额定承受功率：在该信号作用下 8 小时后，扬声器不损坏的功率，称为长时间平均功率。

瞬时功率：4 倍于长时间平均功率。

AES2—1984 标准：

信号类型：连续粉红色信号，具有 6dB（4 倍）的峰值系数

测试时间：2 小时

标称额定承受功率：在该信号作用下 2 小时后，扬声器的机电性能永久变化不大于 10% 的功率。

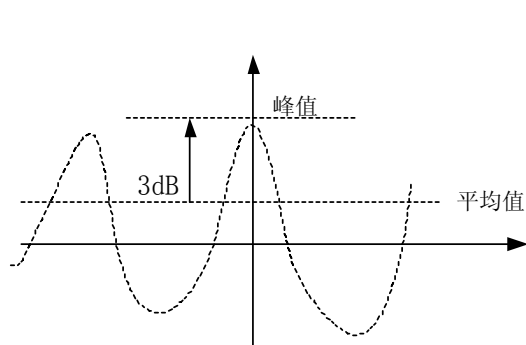
峰值承受功率：4 倍于标称功率。

传统测试法：

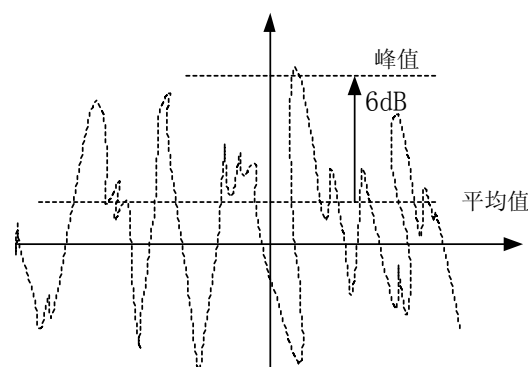
传统测试法得出的 RMS 值就是以平稳变化的正弦波信号作为测试信号，它的峰值系数只有 3dB，所以同样的音箱（扬声器），如果用正弦波信号来测试功率容量，那么得到的平均功率承受力就要高许多，（传统测试法得出的最大功率值是 RMS 值的 2 倍）。

另外，在传统的测试方法中，正弦波信号只要求加在音箱（扬声器）上 1 小时即可。

下面有图形表示出这几种测试信号的区别：



传统测试法



EIA和AES测试法

在信号带宽因素中，音箱（扬声器）的功率承受力在很大程度上受信号频率范围的限制。

比如：额定标称为 200W，有效工作频率为 40 ~ 18kHz 的音箱，在输入一个 50W 20 ~ 30Hz 的信号时就有可能损坏；或者一个额定标称功率为 50W 有效工作频率为 1k ~ 20kHz 的高音单元，输入一个 20W 300Hz 以下的中低音信号也有可能损坏它。因为扬声器纸盆（膜片）的位移与频率高低成

反比，所以，标注具有较高截止频率的音箱（扬声器），比同样一只标注具有较低截止频率的音箱的功率承受力可能要大些。例如：标注为 20W，工作频带为 500 ~ 20kHz 的高音单元，完全可能标注为 40W，工作频带为 1k ~ 15kHz。因此，看音箱（扬声器）的功率承受力，一定要看它的有效工作频带的标注。

通常，对同一只音箱而言，

标注具有宽带工作频率的功率承受力 < 标注具有窄带工作频率的功率承受力

有效工作频率范围内的功率承受力 > 工作频率范围以外的功率承受力

由以上功率的叙述可以看出：要仔细准确地进行功率的评价和标注是很难统一的，这里有传统测量方法的原因。不过要想明确功率的概念，如果大家都准确地把功放的功率称为功放的功率输出能力，把音箱的功率称为音箱的功率承受能力，那么那些国外著名厂家通用的严格测试、标注方法就容易统一了。而那些不太正规的标注就只能作为形式上的参考了。

比如：某些所谓的音箱长期最大功率，只是模拟连续节目信号，持续 1 分钟，间隔 2 分钟，先后重复 10 次作用于音箱上，而不至于使之产生永久性损坏的最大输入功率。显然，这种脉冲式的信号测试方法不足以说明音箱的功率参数。

又比如：所谓功放的峰值音乐功率，仅仅是功放在处理短暂节目信号时的输出能力而已，不仅这个短暂信号没有量的概念，而且峰值系数也无法确定，所以峰值音乐功率和额定功率没有固定的关系，可以是 4 倍，也可以是 6 倍，也可能是 10 倍，当然这种标注方法也没有多大的实际意义。

信噪比

概念：

在电气设备中，通常以放大器输出的信号功率与噪声功率的比值来衡量放大器的放大性能，这种比值叫信噪比，一般用 dB 作单位。

意义：

在音响系统中，信噪比的概念很重要，它直接反映出设备的内部本底噪声情况或输出信号的质量，尤其是对微弱信号的放大情况，因此信噪比是设备的一个重要参数指标。

表达式：

一般情况下，信噪比是以功率比的形式来表达的，即： $S/N = 10 \lg S_0 / N_0$ (dB)

其中 S_0 和 N_0 是设备的输出信号功率

信噪比还可以用电压比的形式表达：即 $S/N = 20 \lg S_0 / N_0$ (dB)

其中 S_0 和 N_0 是设备的输出信号电平

在某些设备的标注中，有时也采用等效噪声电平的方式间接表达出设备的信噪比情况。

等效噪声电平表示的是：要达到输出端一定的噪声电平，相当于在输入端加入了多大的激励信号，比如：等效噪声标注为：-124dB、-128dB。

分类说明：

由于元件质量的提高以及线路设计更加合理，现代专业音响设备的信噪比指标已经非常的高。

一般高档优质的周边设备的信噪比可以达到 80 ~ 100dB 之间；

而调音台和功放等重要设备，以及 CD、LD、DVD 等音源设备的信噪比还可以达到 100dB 甚至更高；

对于象普通卡式录音机、电唱机以及电容话筒、无线话筒这类弱信号放大电路的设备，其信噪比指标就要低一些，一般在 60 ~ 80 之间。

动态范围

概念：

动态范围是描述音响设备在规定信噪比、失真等条件下，输出的最小有用信号和最大不失真信号之间的电平差，即信号的幅度变化范围，单位通常用分贝（dB）表示。

说明：

动态范围是一个很好的衡量音响设备性能优劣的指标。动态范围大，说明该设备能有效处理的信号的强弱范围大；动态范围小，说明该设备本身噪声大或对细节表现差或不能承受强烈信号的冲击。显然，动态范围是一个上下限范围，它的上限主要受设备的输出电平和失真的影响，而下限受设备的本底噪声和输入噪声影响。一般来讲，优质功放、话筒、周边设备、CD 唱机、LD 机等，它们的动态范围都较大，可以达到 100dB 以上，甚至可以达到 140dB，而早期电唱机、调谐器、低档话筒的动态范围一般在 70dB 左右。

几种常见设备的动态范围

设备名	CD 唱机	高档唱机	功放	效果器	高级话筒	MD 机	普通卡座	DAT 卡座	优质无线话筒
动 态 范 围（dB）	110 左右	75 左右	100 左右	80 以上	110 以上	95 左右	70 左右	95 左右	95 以上

指向特性

概念：

在电声设备中，指向特性是指话筒的灵敏度或音箱的声压分布随声波的入射或发射方向而变化的特性，一般用指向特性曲线表示。

① 话筒指向性

对话筒来说，指向性表明，在一定角度内，声波转化为信号的频响和灵敏度都是良好的，而在该角度外，频响变化，电平衰减。这个方向角通常是以极坐标的形式表达的，称为指向性函数。

表达式为：

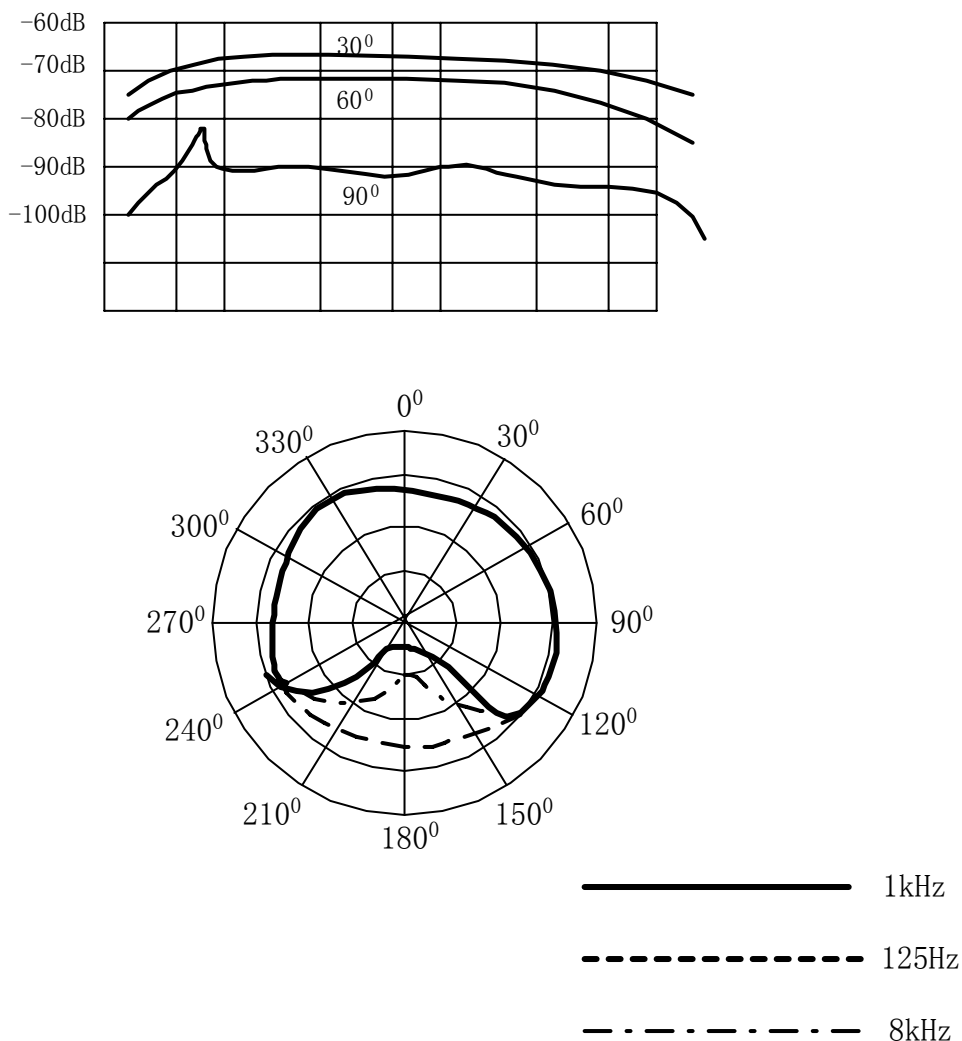
其中 θ 为声波入射角，是声波方向与话筒振膜法线间的夹角

$E(0)$ 为声波沿轴向 ($\theta=0$) 入射时的灵敏度

$E(\theta)$ 为声波沿 θ 角入射时的灵敏度

同时 $D(\theta)$ 函数与入射声波的频率有关

显然，用数学表达式来计算话筒的指向特性比较抽象、繁琐，所以通常用极坐标图来表示，有时也采用不同入射角时的话筒的频响曲线表示指向特性，如图所示：



显然使用极坐标图和频响曲线相对比较直观。

通常为了简单地表明话筒的指向特性，人们根据极坐标图的轮廓形状，将话筒特性分成：全方向性、心形、8 字形、强指向型、超指向型等。在录音和扩声技术中，怎样利用话筒的指向性的其他技术指标，对信号拾取质量和反馈的抑制是专业音响工作的重点。

② 音箱指向性

对音箱来讲，指向特性表明它的产生的声压在周围空间的分布情况，通常它也是用方向角 θ 的极坐标函数来表达的。这个 θ 角是观察点的矢径与扬声器振膜法线之间的夹角。在数学表达式中，可以有下面两个公式：

$$\text{指向性因素} \quad Q(f) = I_1 / I_2$$

其中 I_1 为在自由声场中沿扬声器振膜法线的指定距离 r 处的声强

I_2 为在与 I_1 同一条件下，在同一位置，由总辐射功率相等的点声源所产生的声强。

或者 指向性指数 $D_I(f) = 10 \lg Q(f)$

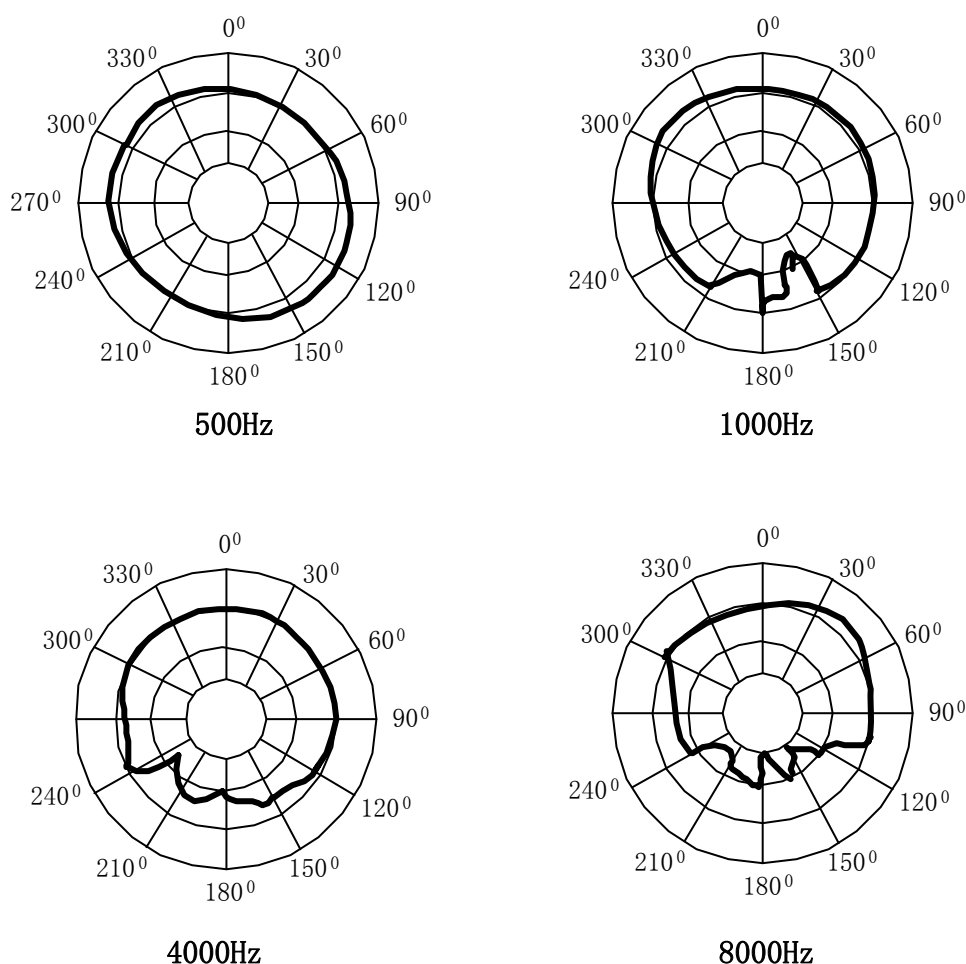
同话筒指向特性一样，扬声器的指向特性也与声音频率有关。

显然，用数学公式来表达扬声器的指向特性也比较抽象和繁琐，所以通常直观地用水平和垂直方向上偏离扬声器正面轴向的规定角度内，其声压级下降的最大分贝数表示。

比如：某扬声器水平 $\pm 40^\circ$ 600 ~ 8kHz，降低<6dB，说明该扬声器在水平方向的 $\pm 40^\circ$ 范围内，600 ~ 8kHz 的声波，声压级下降小于 6dB。

如果用极坐标图来表示，也可以得到像话筒指向特性一样的指向图，比如：

某音箱在几个主要频点的指向特性图



这种表示方法就是某些技术资料上所说的波瓣图，有些技术资料将音箱的指向性直接简称为：

覆盖角度，表示为： $A^\circ \times B^\circ$ （水平/垂直）。

音箱的指向特性在实际扩声中也很重要，但是它仅仅是一个供扩声或工程计算的技术参数，指向性并不是越宽越好，也不是指向性越强越好，具体怎样根据指向性来选用设备，应该根据扩声现场的实际情况、音箱的安装形式来决定，尤其是多只音箱重叠安装，作为特殊场所扩声时（比如：露天大型演出、房间层高和周围条件不理想），扬声器的指向特性对音箱的安装位置有重要的参考价值。

通道隔离度

通道隔离度主要用在调音台上，它是指调音台相临输入或输出通道信号的相互干扰情况，以分贝（dB）为单位，又称为通道串扰。

一般情况下，通道隔离度用两种方式表示：

如果采用 $- \times \times \text{dB}$ 的方法，就标注为串扰 $< - \times \times \text{dB}$

如果采用 $+ \times \times \text{dB}$ 的方法，就标注为隔离度 $> + \times \times \text{dB}$

通常，这个指标是在 1kHz 下标定的，当然它的绝对值越大越好。如果信号频率提高，通道隔离度的指标会下降一些。

阻尼系数

阻尼系数表示功放的输出阻抗（是内阻而不是负载阻抗）对扬声器起到的阻尼作用大小，一般用 F_D 表示。

具体地讲：功放输入端信号停止后，扬声器的振动不会立即停止，声音会产生滞后和失真，同时，扬声器音圈在磁场中运动产生的感应电压与功放输出级电压叠加，使扬声器产生滞后振动和失真，这种有害现象都需要功放的阻尼作用来对扬声器实施阻尼，而反映功放阻尼能力大小的参数就是阻尼系数。

一般情况下，阻尼系数 $f_D = \text{扬声器阻抗} / \text{功放内阻（含线阻）}$

显然，功放内阻越小，在一定扬声器阻抗下，功放的阻尼系数 F_D 也越大，它的阻尼控制作用就越强，优质专业功放的阻尼系数能达到一百甚至几百以上。

取样、取样频率、超取样频率、比特、比特率、量化、量化噪声

概念：

在数字处理技术中，必须首先将模拟信号转换成数字信号（即 A/B 转换），这种转换过程包括取样和量化。

取样就是用离散的点来表示信号的原始波形，而每秒钟取样的次数是取样频率。根据取样定理，为了能由抽样信号恢复原信号，抽样频率 f_s 至少要两倍于信号的最高频率 f_m ，即 $f_s > 2f_m$ 。

由于音频信号的最高频率为 20kHz，所以在数字音频技术中，通常规定取样频率为 44.1kHz ($\approx 2 \times 20\text{kHz}$)。

在经过 D/A 转换后，需要连接一个高阶低通滤波器，来滤除在量化处理中产生的大于 20kHz 的高次谐波信号。但是由于高阶滤波器的技术缺陷（阶数太高，频率太靠近音频领域），所以音质会受到影响。为了改善音质，通常采用超取样的办法对量化后的信号进行再取样，一般取超取样频率为 $4f_s$ 、 $8f_s$ 、 $16f_s$ 等，其目的就是把高次谐波成分移向更高的频率范围，这样可以在只经过简单的滤波器滤波后，使音质得到很大改善。

比特是数字技术中最小的存储单位，通常以二进制序列表示。序列中的每一位（即比特, bit）可以是“0”或“1”两种状态。一般，在计算机理论中以 8 比特为一个字节（byte）。

比特率是指数字处理方式中，存储处理媒体对编码信号的传送速度，单位是比特/秒（bps）。通常，比特率越高，信号传输的速率就越快，传输的信号量就越大，在音质和画质上都会有提高，当然成本也要高些。

经过抽样后的信号只是一个空间上的离散数值阵列，必须将它转化为有限个离散值，这个转化过程就叫量化。

在量化过程完成后，模拟值与量化值间的误差叫量化误差，因这种误差而最终产生的噪声叫量化噪声。通常，量化噪声与量化精度有关，量化越精细，量化噪声就越小，信噪比也越高，但是，这是以增加比特率为代价的。通常，CD 机和 D/A 转换的比特率为 16 bit，如果将之提高到 18 bit 或 20 bit，机器的性能就会进一步提高。

但是与高比特率处理反其道而行的是 1 bit D/A 转换技术。它是以高出普通取样频率许多的取样频率来取样，再进行转换和处理的，它的特点是减小了转换误差，增加了微弱信号重放能力，也降低了失真，但是取样频率过高是一个难题。