

110908

劳动保护专业培训教材

工厂噪声与控制技术



吉林省劳动保护教育中心

编 写 说 明

吉林省劳动保护教育中心，认真总结了近年来在教学实践中的经验教训，深入地调查研究并综合分析全国各地劳动保护方面的培训教材，在原编教材的基础上，本着去粗存精、兼收并蓄、简明适用的原则，重新编写了这套《劳动保护专业培训教材》。新编教材共为十分册，约60万字。

新编教材，在内容和程度上，按照劳动保护高级中专水平进行编写，既照顾教材篇幅不要过大，也考虑便于在实际工作中查找资料。尽力做到理论联系实际，侧重在实际工作中解决安全生产问题。

《劳动保护专业培训教材》适用于培训各级劳动部门安全监察干部和厂、矿企业主管安全工作的厂、矿长、安技科长及其他从事安全工作的干部。

教材编写过程中，始终采用集体讨论纲目、个人分工执笔、集体审阅定稿的办法，切实保证教材编写质量。力求教材内容切合实际，知识的深度和广度适合工作需要。

承担本教材编写执笔任务的是葛景亮副主任（工厂噪声与控制技术）；徐世荣工程师（安全人机工程和机械制造安全技术）；李宝祥工程师（安全系统工程）；刘颖工程师（工业通风）；宗德魁工程师（起重搬运安全技术）；徐照庚工程师（工厂防火防爆）；董文良工程师（建筑安装工程施工安全技术）房长春工程师（电气安全技术）；张元忠主治医师（劳动卫生与职业病），全套教材由

教育科、教学研究室集体修改和审定。

教材编写过程中，还得到省劳动人事厅，省劳动保护研究所、省建筑工程总公司和白求恩医科大学环境医学系劳动卫生教研室张玉梅副教授等有关单位和同志的热情指导和帮助，在此谨表谢意。

由于我们专业水平有限，教材的疏漏和谬误之处恐难避免，诚望从事劳动保护宣传教育工作的同行，安全监察干部和安全生产管理干部在使用过程中，提出宝贵意见，不胜感激。

编 者

一九八七年五月

封面设计：王识未

目 录

第一章 噪声基本知识.....	(1)
第一节 声波与噪声.....	(1)
第二节 噪声的物理量度.....	(6)
第三节 噪声的主观量度.....	(11)
第四节 声波的反射、折射、绕射、干涉、衰减和声场.....	(14)
第二章 噪声的危害、测量与允许标准.....	(19)
第一节 噪声的危害.....	(19)
第二节 噪声测量.....	(23)
一、测量仪器.....	(23)
二、噪声测量方法.....	(25)
第三节 噪声允许标准.....	(27)
一、健康与听力保护标准.....	(27)
二、环境噪声标准.....	(28)
第三章 噪声控制原理与技术措施.....	(32)
第一节 噪声控制的一般方法.....	(32)
第二节 吸声原理与应用.....	(35)
第三节 隔声原理与应用.....	(39)
第四节 隔振原理与应用.....	(43)
第五节 阻尼降噪原理与应用.....	(47)
第六节 消声器降噪原理与应用.....	(50)
第七节 噪声治理综合例.....	(58)
结束语	(61)

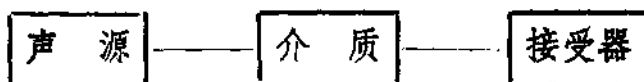
第一章 噪声基本知识

第一节 声波与噪声

什么是噪声？热闹的道路上，车声隆隆，喇叭尖叫；在工厂里，机器轰鸣，物体撞击震耳。这些混杂的，干扰人们谈话、工作、学习和休息的，令人厌烦的声音，就是噪声。从物理学上讲，协调音为音乐，不协调音为噪声。噪声就是各种不同频率和强度的声音，杂乱无章地组合在一起。但是，从人的心理学来看，噪声与音乐很难区分，例如，悠扬的歌声，理应属于音乐，但对正在睡觉或思考问题的邻居来说，则是一种干扰的噪声。因此，从广义上来说，凡是不需要的声音都叫噪声。

噪声是声音的一种，因此声音所具有的属性，声波所遵循的规律，对噪声同样也是适合的。下面我们对声音的产生和传播、有关描述声音的一些量及声传播的规律介绍如下：

1. 构成声音的三要素：



物体振动，在空气或其它介质中传播，引起听觉器官或其它接受器的反应，就是声。

可见，形成声需要有三个要素：声源、介质和接受器。

声源的振动，可以是固体（如琴弦、鼓膜等），也可以是流体

(如哨气体等), 还可以是其它状态的物体(如现正研究的等离子发声体)。不论是什么状态的物体, 引起声的是机械振动, 即位置的周期性变化。

介质同样可以是不同的物态, 如气体、液体和固体。但它们应当具有惯性和弹性两个特性。只有声源的振动, 没有介质传播, 也不能构成声。如罩在玻璃罩下的钟, 如果把罩内的空气抽去, 罩外就听不见它的声音了。

最普通的声接收器是耳和话筒。耳是人体的声觉感受器官, 话筒则是实验测量系统的声传感器。

由于声的构成有三要素, 所以要消除声可从三方面着手: 声源处理、传播途径处理和接收器处理。

2. 声源、频率、音调和音色

声音是物体振动而产生的。我们把振动发声的物体叫做声源。

在工厂, 物体振动发声的例子是处处可见的。如铆工用锤敲打铆钉和钢板, 球磨机内钢球撞击壳壁, 织布机的梭子冲撞打板等等, 都可引起这些物体振动而产生噪声。这些例子都是由固体振动而发生的, 通常叫机械噪声

不仅固体振动发声, 气体和液体振动也会发声。如气流管道的阀门声、漏气声, 锅炉排气噪声, 海水的波浪声, 风的呼啸声等。我们通常把气体扰动而产生的噪声(如风机、空压机、喷气式飞机和各排汽噪声)叫做空气动力性噪声。

由此可见, 振动发声的声源可以是固体, 也可以是气体或液体, 而发出的噪声分别是机械噪声、气动噪声和液体噪声。

声源的振动, 通常用振幅、频率和位相三个量来描述。振幅是振动物体离开平衡位置的最大偏离, 它与振动能量有着直接的关系

(振动能量与振幅平方成正比)。位相表明某一时刻，物体在振动过程中所处的位置，由于噪声往往是杂乱无章振动的组合，具有随机性质，因此位相这概念无关紧要。而频率这一概念在噪声及治理中却是重要的。

频率表示单位时间内振动的次数，通常用字母 f 表示。频率单位赫兹，或简称赫，用字母 Hz 表示。1 赫表示每秒钟振动一次。正常人耳听到的频率范围是 20 赫—20000 赫。高于 20000 赫的声波叫做超声；低于 20 赫的叫次声。超声和次声。人耳是听不到的。

音调。我们通常所说的音调，是由组成声音的频率决定的，其中主要由基频决定。所谓基频，指振动次数最低，强度最大的那个频率。基频越高，则调子也越高。好乐曲中 C 调中的“1”为 256 Hz，高八度的“i”频率为 512 Hz，而 A 调中的 1 为 440 Hz，高八度 i 为 880 Hz。所以 A 调就比 C 调高，“i”比“1”的调子高。

音色，或称音品，是什么意思呢？不同的乐器，如黑管和二胡；不同的唱歌家，如张权与郭兰英，她们即使演奏或演唱同一曲调，也就是说尽管音调相同，但我们听起来，每件乐器，或每个歌唱家，仍有它独特的品格，我们立刻就能分辨出来，这就是所谓音色不同的缘故。原来在演奏或演唱发声时，除基调外，还混有基频的 2 倍、3 倍……谐波频率（或叫泛音）。由于每件乐器或每个歌唱家具有的谐波频率不同，以及各个谐波与基频的强弱之比又不同，这就构成了该声音的独特音色。在噪声控制中，有时也讲音色如何，如汽车噪声，特别是高级的小轿车，装消声器，除把排汽噪声降下来，还不要产生怪音；按喇叭，除具有一定响度以达到警号外，还要求汽车喇叭的音色要好些，不要尖叫刺耳。

3. 声波、波长、声速

声源振动，在介质中传播即为波。振动和波动是互相密切联系的运动形式。振动是波动的产生根源，而波动是振动之传播过程。在空间，声源振动，使靠近它附近的空气也振动，由于空气分子之间有一定的弹性和惯性，振动着的空气分子又带动与其相邻的气体分子振动，余此类推，就使声源振动以波动形式由近向远传播开来。声音在本质上是一种波动，因此，声音也叫做声波。

说到这里，我们可以给声波下个定义，声波就是在弹性介质（气体、液体、固体）中传播的波动形式，应该指出，在介质中传播的只是波动形式，而介质本身并不传走，它只是在原地振动。这和把石块投在水中形成水波的情景相似，我们视水面上的树叶与水为一整体，这样我们看到的这片树叶只是随水波上下振动，并不走动。

声波在气体和液体中传播，质点振动方向和声波传播方向相同，称为纵波；声波在固体中传播，质点振动方向和声波传播方向可能相同，即为纵波；也可能垂直，则为横波。图1是声波在空气中传播的示意图，由图可看出，声波引起空气质点作疏密的周期变化，即振动，这一疏一密的振动与声波传播方向是一致的，故是纵波。

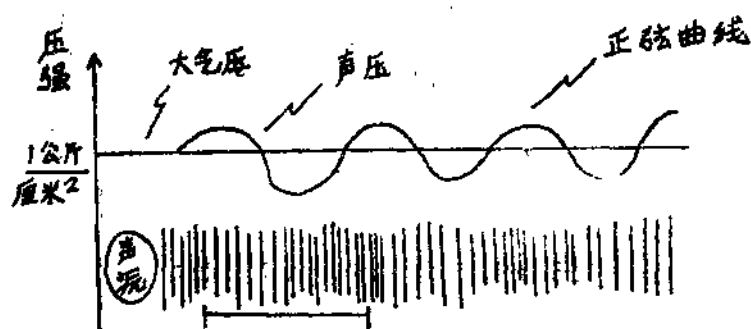


图1 声音在空气中传播

波长。声波振动一次（即1Hz）传播的距离，叫做波长。在纵波中（如图1所示），两个相邻的密部或两个相邻的疏部之间的距离，就是一个波长。波长通常用字母 λ 表示，单位是米。下面我们将会知道，波长是由声波的频率所决定的，频率高，波长短，频率低，波长长。在常温的空气中，当频率 f 为125Hz时，波长 λ 为2.72米；当 $f=500\text{Hz}$ 时， $\lambda=0.68\text{米}$ ；当 $f=2000\text{Hz}$ 时， $\lambda=0.17\text{米}$ 。

声速。声波每秒钟传播的距离叫做声速。用字母 C 表示，单位是米/秒。在标准大气压下， 0°C 的空气中，声速为331.4米/秒，在 20°C 下， $C=344\text{米/秒}$ 。空气的温度越高，声速越大。通常温度范围内，温度增加 1°C ，声速增加0.607米/秒。如在 15°C 下，空气的声速 $C=331.4+0.607\times 15=340\text{米/秒}$ 。

当温度高于 30°C 或低于 -30°C 时，则应该用下式计算声速：

$$C = 331.4 \sqrt{\frac{T}{273}} = 20.05 \sqrt{T}$$

式中， T 为绝对温度， $^\circ\text{K}$ 。

在不同的介质中，声速是不一样的，在 0°C 时，空气中声速为331.4米/秒；在水中声速为1450米/秒，在钢铁中是5000米/秒，在玻璃中是5000~6000米/秒；在橡胶中，却只有30~50米/秒。

根据频率 f 、波长 λ 和声速 C 的定义，它们三者有如下的关系，即

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad \text{或} \quad C = \lambda \cdot f$$

由此也可看出，正如前面所述，频率越高，波长越短。

波速（声速）、频率、波长，知道两个可求第三个。其中两个量连同振幅一起，构成了描述波的两个物理量。振幅实际上只反映声的强弱的参量。

第二节 噪声的物理量度

对噪声的衡量，主要有强弱的度量和频率分析两方面。噪声的强弱，可以有客观的物理评价，也可以从人耳的主观感觉出发作评价。前者主要包括声压和声压级、声强和声强级、声功率和声功率级。后者主要包括响度和响度级、各种计权网络声级和感觉噪声级。这后者按构成声音的三要素顺序来说，我们放在下节来讲。本节主要介绍噪声的客观物理量度。

一、声压、声压级、分贝

我们知道，声波是由于空气分子的振动形成疏密波而传播的。当空气中没有声波时，空气中的压强即为大气压。当有声波传播时，某处空气时疏时密地变化，使压强在原来大气压附近上下变化，相当于在原来大气压上迭加一个变化的压强。这个迭加上去的压强就叫做声压，用符号 P 表示，单位是微巴 (μb)， $1 \text{ 微巴} = 1 \text{ 达因/厘米}^2 = 0.1 \text{ 牛顿/米}^2$ 。一个大气压约等于 10^6 微巴。

迭加上去的声压大，表示空气分子被压缩大，因而声波对耳膜的压力也大，我们听到的声音就响。而只有声源的振幅大时，空气被压缩才大，因此，声压与声源振动的振幅有关，而与它的频率、波长是无关的。

多大的声压能使人耳有声音的感觉呢？对正常人耳，当 1000 Hz 声压为 0.0002 微巴 时，刚刚听到，这叫听阈声压。当 1000 Hz 声压为 200 微巴 时，产生震耳欲聋的声音，这个数值叫痛阈声压。人们正常说话时的声压约为 $0.2 \sim 0.3 \text{ 微巴}$ ，是大气压的千万分之二、三左右，可见声压与工程上压力相比，是很小的。

声压级。从上述可知，人耳的听觉范围，从刚刚听到的声音到震耳欲聋的巨响，声压的变化范围从0.0002到200微巴，相差达一百万倍。所以如果用声压表示声音的强弱，数字冗长，极不方便。为了方便，同时考虑到人耳对声音强弱变化的感觉特性，人们便采取按对数方式分等级的办法做为计量声音的单位，这就是声压级。引入“级”的概念，与表示风或地震的大小用“级”的道理是一样的（如常说几级风或几级地震，而不说风速每秒多少米或地震能量多大）。

国际上统一规定，把人体刚刚能听到的声音（0.0002 μb ）定为0分贝，把此作为基准声压 P_0 。这如同我们把海平面定为0米标高。来衡量山峰或大地的高度一样。

声压级的数字表达式为

$$L_P = 20 \lg \frac{P}{P_0} \text{ (分贝)}$$

式中， L_P 声压级，分贝。

P 声压、微巴，

P_0 参考的基准声压，为0.0002微巴。

引入声压级的概念后，于是从人耳刚刚听到的声音到震耳欲聋的声音，原来声压相差百万倍的变化，只从0到120分贝的变化范围了，因而既方便也明了得多。

分贝。由上式看出，分贝是一个相对单位，它没有量纲，它的物理意义是表示一个量超过另一个量（基准量）的程度。分贝来源于电讯工程上，用两个功率的比值取常用对数，以表示放大器的增益。在声学中，把分贝引来，成为计量声音大小的常用单位。

由于分贝是以对数比值表示的一种“级”的单位，所以，在运算

中就不能按一般的自然数运算，而必须遵照对数法则进行运算。比如一个100分贝的噪声与一个98分贝的噪声相加，应该是多少分贝呢？当然不是 $100 + 98 = 198$ 分贝了，而是应按对数加法进行。工程上为了计算方便，已总结出现成的图或表来，(见图2或表1)，计算时先求出2个分贝数的差 $L_1 - L_2$ ，然后再由这个差在表1(或图2)上找出相应的增值 ΔL ，最后在分贝数高的 L_1 加上这个增值 ΔL ，即为两个分贝数之和。如 $100 - 98 = 2$ 分贝，在图2或表1上查出 $\Delta L = 2$ 分贝，所以100分贝与98分贝之和为 $L_1 + \Delta L = 100 + 2 = 102$ 分贝。

如果有许多个噪声相加，也按如上步骤，先两个一组的求和，最后都相应加到。如果是几个相同的噪声源相加时(如车间里，相同的设备有好几台)，则可用下式计算

$$L_{\text{总}} = L_1 + 10 \lg n \quad (1 \text{ 分贝})$$

式中， L_1 为一台设备的噪声级，分贝。

$L_{\text{总}}$ 为 n 台相同设备的噪声级之和，分贝。

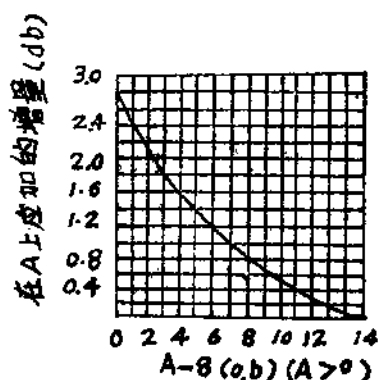


表1 图2 求两个声级的和

表1 分贝求和的增值

$L_1 - L_2$	0	1	2~3	4~9	10
ΔL	3	2.5	2	1	0.5

当两个声压级相差10分贝时，其增值小于0.5分贝，这说明小的声源与大的声源相比，可以忽略。也就是说，当两个声压级相差10分贝时，则迭加后的总声压级几乎等于声压级高的那个。

二、声强、声强级、声功率、声功率级

声波作为一种波动形式，除具有压力外，当然具有能量。人们也常用能量的大小来表示声音的强弱，在工程上常碰到的是声强和声功率。在这里我们简单地把声强、声强级、声功率和声功率级的概念介绍一下。

声强是指在垂直声传播的方向的单位面积上，单位时间内通过的声能量。通常用字母 I 表示，单位是瓦/米²。

声功率是指声源在单位时间内辐射出来的总能量，通常用字母 W 表示，单位是瓦。由这个定义可以看出，声功率不象声压或声强那样随着离开声源的距离加大而减小，它是反映声源辐射声能本领的强弱的，对一确定的声源来说，它的声功率是一定的，声源辐射不随距离声源的远近而变化。

与声压一样，声强和声功率也用级来表示，这就是声强级和声功率级，其单位也是分贝，它们的数字表达式为：

$$\text{声强级} = L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad \text{分贝}$$

式中， $I_0 = 10^{-12}$ 瓦/米²，基准声强，即为1000Hz纯音人耳刚刚能听到的强度。

$$\text{声功率级} L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad \text{分贝}$$

式中， $W_0 = 10^{-12}$ 瓦，基准声功率，即对1000Hz纯音，人耳刚刚能听到的声功率数值。

到目前为止，还未研制出可以直接测量声能量的瓦特计，由于

声学仪器的传感器多是响应于压力信号的，所以，一般声功率多是由测得的声压来换算的，对于位于自由空间的点声源来说，声功率级可用下式计算：

$$L_w = L_P + 20 \lg \gamma + K$$

式中， L_w 为声源辐射的声功率级，分贝；

L_P 为距声源 γ 米处测得的声压级，分贝，

K 为常数，对声源在空中时， $K = 11$ ；当声源在地面上时， $K = 8$

三、噪声的频谱

噪声通常不止一个或几个频率，而是包含有各种频率成分的广谱声，声频不同，造成的各种效应不同，控制措施也不相同。因此，需要对噪声进行频率分析。

如果把噪声按每1赫来分析声压的大小，这既麻烦，也不必要。为了方便起见，人们把一个宽广的声频范围划分为几个小的频段，这就是通常说的频带或频段。工程上常用的有1倍频段和1/3倍频段。倍频段的每个频带上限频率与下限频率之比为2:1，即上限频率为下限频率的2倍，故称倍频段，音乐中一组八度音就是一个倍频段。倍频段的中心频率是上下限频率的几何平均值，即

$$f_{\text{中}} = \sqrt{f_{\text{上}} f_{\text{下}}} = \sqrt{\frac{2}{2}} \quad f_{\text{上}} = \sqrt{2} f_{\text{下}}$$

现在，国际上倍频段的分法已通用化了。如下表所示，使把20~20000Hz全部可听声频用10个倍频带包括进来了，大大简化了测量，实际工程上，往往只用63~8000Hz这8个倍频带就可以了。

表 2 倍频程中心频率与其频带范围

中心频率 (Hz)	31 ⁵	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K
频带范围	20	45	90	180	355	710	1420	2840	5680	11360
(下限 / 上限)	45	90	180	355	710	1420	2840	6680	11360	22400

把倍频带再分为三等分，即为 $1/3$ 倍频程，此时的上下限频率之比为 $3\sqrt{2} : 1$ 。 $1/3$ 倍频程把频率分得更细了，对某些有调噪声，可以更清楚地看出噪声峰值在那个频率上，因而可以更有针对性的采取治疗措施。

我们以频率（频带）为横坐标，以声音大小（声压级）为纵坐标，绘出声音大小的频率分布图，叫做频谱图，把测量的噪声绘成频谱图，可以清楚地了解该噪声的成分和性质，这就是所谓频谱分析。噪声的频谱分析有助于我们了解声源特性，为采取降噪措施提供依据。

第三节 噪声的主观量度

如前所述，构成声要有三要素：声源、传声的介质、接受声的接受器。人耳是最常指的接受器。现在我们就以人耳为代表，讲讲接受器方面的特性。

前面讲的声压、声强和声功率等，都是客观的物理参量，但是，人耳对声音的感受不仅和声压等有关，而且也和频率有关，也就是说，不同频率的声音，即使声压相同，人耳听起来也是不一样响的。如空压机和电锯，同为100分贝，可是高频的电锯声听起来要比空压机噪声响得多。根据人耳的这种特性，仿照声压级的概念，引

出了一个与频率有关的响度级。其单位是方。选取1000Hz的纯音做为基准音，如某噪声听起来与该纯音一样响时，则该噪声的响度级（方值）就等于该纯音的声压级（分贝数）如某噪声听起来与声压级85分贝的1000Hz纯音一样的响时，则该噪声的响度级为85方。

响度级是表示声音响度的主观量，它把声压级和频率用一个单位统一起来了。

利用与基准声音比较的方法，可以得到整个可听范围的纯音的响度级，其结果即等响曲线，它是由大量试验得出来的，如图3所示。

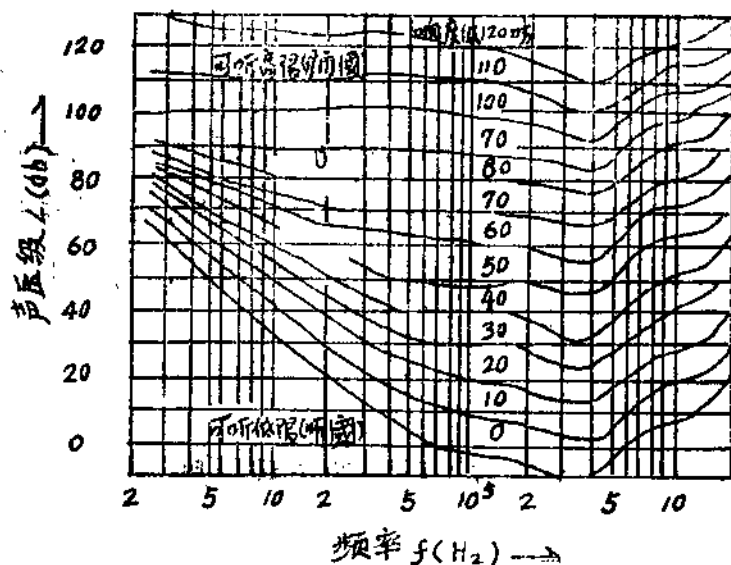


图3 等响曲线族

等响曲线族中每一条曲线相当于声压级和频率不同而响度相同的声音。最下面的曲线是听阈曲线，最上面的曲线是痛阈曲线，听阈和痛阈之间是正常人耳可以听到的全部声音。

从等响曲线中可以看出，人耳对高频声，特别是2000~6000赫的声音敏感；而对低频不敏感。如响度级同是60方，对于100赫的声音来说，声压级是60分贝；对于3000~4000赫的声音来说，声压级是52分贝；而对于100赫的声压级是67分贝。但它们都在响度

级为60方的曲线上。

响度级是个相对量，有时需要把它化为自然数，即用绝对值来表示。这就引出一个响度单位（宋）。响度级（方）与响度（宋）之间的关系为：

$$S = 2^{\frac{P - 40}{10}}$$

式中 S 为宋数， P 为方数。由此可看出，响度级每改变10方，响度相应改变一倍。40方为1宋，50方为2宋，60方为4宋……

用响度级表示声音的大小，可以直接算出声响增加或减少的百分数。如等声源经声学处理后，响度级降低10方，则相当于响度降低50%；响度级降低20方，相当于响度降低75%；响度级降低30方，相当于响度降低87%，等等。显然，这种表示方法是很直观的。

近年来，在噪声测量中常用A声级。下面谈谈什么是A声级？由于人耳对低频声不敏感，对高频声敏感。在声学测量仪器中模拟人耳的这种特性，设计了计权网络A。当声音通过A网络时，它把低频声（特别是500赫以下）给以较大的衰减，即低频声给打个折扣再进来，但对高频声则无衰减地进来。这样计权的结果，这正好与人耳对声音的感觉相一致。因此近年来（在国内外）人们在噪声测量时，多用A网络表示噪声的大小，称为A声级，记作分贝（A）或db（A）。平时我们说某个噪声多少分贝，如鼓风机98分贝，就是指A声级来谈的，写作98 db（A）。

此外，还有B网络、C网络、D网络和E网络都有一定的规定和用途，在此就不作介绍了。