

噪声和振动测量技术

编者：张绍栋 熊文波

杭州爱华仪器有限公司

2005年10月

目 录

第一章 噪声及其危害.....	1
第二章 噪声的评价.....	8
第三章 噪声允许标准.....	13
第四章 常用噪声测量仪器.....	15
第五章 噪声测量方法.....	25
第六章 振动测量技术.....	29
第七章 噪声和振动监测仪器的选用和维护.....	40
附 录 杭州爱华仪器有限公司主要产品明细表.....	45

第一章 噪声及其危害

一、噪声

噪声是一种声音，声音是由物体的机械振动而产生的。振动的物体称为声源，它可以是固体、气体或液体。声音可以通过介质（空气、固体或液体）进行传播，形成声波。当声波到达人耳，人们就听到声音，声波在传播过程中可能会产生反射、绕射、折射和干涉。

声音有强弱之分，并用声压 p 来表示其大小，单位是 Pa（帕）， $1\text{ Pa}=1\text{ N/m}^2$ （牛顿/米²），一个大气压等于 $1.013 \times 10^5\text{ Pa}$ 。声压可以用峰值、平均值和有效值表示。声压的有效值是瞬时声压平方在一段时间平均数的平方根，又称均方根值（RMS），它直接与声波的能量有关，所以用得最多，以下除非另外说明，所论声压均指有效值。

由于声压变化的范围很大，例如人耳刚能听到的最小声压为 $2 \times 10^{-5}\text{ Pa}$ ，而喷气式飞机附近的声压可达数百帕，两者相差数百万倍；同时考虑人耳对声音强弱反应的（对数）特性，用对数方法将声压分为百十个级，称为声压级。

声压级的定义是：声压与参考声压之比的常用对数乘以20，单位是dB（分贝），即：

$$L_p = 20 \lg \frac{P}{P_0} \quad (1-1)$$

式中： p 为声压（Pa.）， $p_0=2 \times 10^{-5}\text{ Pa}$ 是参考声压，它是人耳刚刚可以听到声音的声压。

衡量声音强度的还有声强和声功率。声强是在垂直于声波传播方向上，单位时间内通过单位面积的声能，以 I 表示，单位是 W/m^2 （瓦/米²）。声强与声压的平方成正比，对于平面波声场，声强 I 和声压 P 的关系用下式表示：

$$I = \frac{P^2}{\rho c} \quad (1-2)$$

式中： ρ 是介质密度， c 是声速， ρc 称之为介质的特性阻抗。

声源在单位时间内辐射的总声能，称之为声源的声功率，用 P 表示，单位是W（瓦），它等于包围声源的一个封闭面上的声强总和：

$$P = \int_s I_n ds \quad (1-3)$$

式中：积分号表示在封闭面 s 上进行求和积分； I_n 是声强在面积元 ds 法线方向的分量。

在自由声场中，声波无反射地自由传播，点声源向四周辐射球面波，其声功率为：

$$P = I_r 4\pi r^2 \quad (1-4)$$

式中： I_r 是距点声源为 r 处的声强。

如果声源在开阔空间的地面上，声波只向半球面辐射，此时

$$P = I_r 2\pi r^2 \quad (1-5)$$

这里 I_r 是在半径等于 r 的半球面上的平均声强。

声波振动的快慢用频率 f 来表示，单位是Hz（赫），它表示物体在1秒内振动的次数。频率的倒数为振动周期 T ，单位是s（秒）。人类只能听到20Hz~20000Hz的声音，低于20Hz的声音为次声，高于20000Hz的声音为超声。

声波的幅值随时间的变化图称为声波的波形。如果波形是正弦波，则称为纯音，纯音的声波可以用下述函数描述：

$$p = P \sin(\omega t + \phi) \quad (1-6)$$

式中： P -幅值； ω -角频率， $\omega = 2\pi f$ ， f -频率； ϕ -初始相位。

如1000Hz声音就是指频率为1000Hz的纯音。如果波形是不规则的，或随机的，则称为噪声。如果噪声的幅值对时间的分布满足正态（高斯）分布曲线，则称为“无规噪声”。如果在某个频率范围内单位频带宽度噪声成分的强度与频率无关，也就是具有均匀而连续的频谱，则此噪声称为“白噪声”。如果每单位频带宽度噪声的强度以每升高一倍频程下降3dB而变化，则此噪声称为“粉红噪声”，粉红噪声是在等带宽内能量分布相等的连续谱噪声。

在通常情况下，我们往往把那些不希望听见的声音称为噪声，如环境噪声、交通噪声等。钢琴声是乐声，但对于正在学习或睡觉的人就成了扰人的噪声。

按照声源的不同，噪声可以分为机械噪声、空气动力性噪声和电磁性噪声。机械噪声主要是由于固体振动而产生的，在机械运转中，由于机械撞击、磨擦、交变的机械应力以及运转中因动力不平均等原因，使机械的金属板、齿轮、轴承等发生振动，从而辐射机械噪声，如机床、织布机、球磨机等产生的噪声。当气体与气体、气体与其它物体（固体或液体）之间做高速相对运动时，由于粘滞作用引起了气体扰动，就产生空气动力性噪声，如各类风机进排气噪声、喷气式飞机的轰声、内燃机排气、储气罐排气所产生的噪声，爆炸引起周围空气急速膨胀亦是一种空气动力性噪声。电磁性噪声是由于磁场脉动、磁致伸缩引起电磁部件振动而发生的噪声，如变压器产生的噪声。

按照噪声的时间变化特性，可分为四种情况：噪声的强度随时间变化不显著，称为稳定噪声（见图1.1a），如电机、织布机的噪声。噪声的强度随时间有规律地起伏，周期性地时大时小的出现，称为周期性变化噪声（见图1.1b），如蒸汽机车的噪声。噪声随时间起伏变化无一定的规律，称为无规噪声（图1.1c），如街道交通噪声。如果噪声突然爆发又很快消失，持续时间不超过1s，并且两个连续爆发声之间间隔大于1s，则称为脉冲声（图1.1d），如冲床噪声、枪炮噪声等。

城市环境噪声在噪声研究中占有很重要的地位，它主要来源于交通噪声、工业噪声、建筑施工噪声和社会生活噪声。由于城市中机动车辆的日益增多和超声速飞机的大

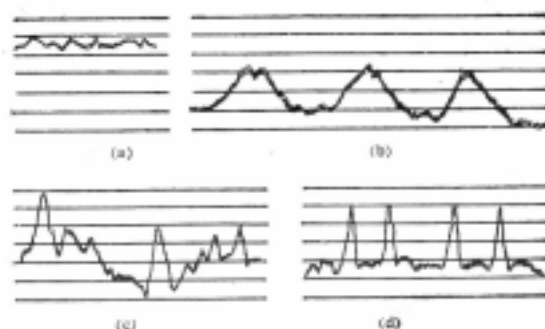


图 1.1 噪声的时间特性

量使用，运输工具（如汽车、拖拉机、火车、飞机等）产生的噪声成了城市环境噪声的主要污染源之一。工业噪声不仅直接对生产工人带来危害，而且影响附近居民。工业噪声中，纺织厂的噪声在90~106dB，机械工业在80~120dB，大型球磨机、大型鼓风机在130dB以上。工业噪声是造成噪声性耳聋的主要原因。建筑施工噪声是由于建筑工地使用各种打桩机、搅拌机、切割机等施工机械引起的噪声。社会活动和家庭生活噪声也是普遍存在的，例如为了宣传活动而过量地使用高音喇叭，就会产生令人烦恼的噪声。在社会生活中，不当地使用收音机、录音机、电视机，在很多情况下也会成为一种对邻居干扰的噪声源。电风扇、电冰箱、洗衣机等家用电器，如设计制造不合理，或使用不当亦会成为噪声源。

二、噪声的频谱

实际上，任何机器运转时的噪声都是不只一个频率的声音，它们是从低频到高频无数频率成分的声音的大合奏。有的机器高频率的声音多一些，听起来高亢刺耳，如电锯、铆钉枪，它们辐射的主要噪声成分在1000Hz以上，这种噪声我们称之为高频噪声。有的机器低频率的声音多一些，如空压机、汽车，辐射的噪声低沉有力，其主要噪声频率多在500Hz以下，我们称之为低频噪声。而8-18型，9-27型高压风机的噪声主要频率成分在500-1000Hz范围内，我们称这种噪声为中频噪声。有的机器较为均匀地辐射从低频到高频的噪声，如纺织机噪声，我们称之为宽频带噪声。

噪声的主要特点是：具备一定强度，用声压表示；具有不同频率成分，用频谱表示。机器噪声之所以可以区分就是它们具备了这两个特点的缘故。但是把每一部机器的所有频率成分的声音的声压一一分析出来，虽然技术上可以办得到，但并没有太大必要。为了方便，并根据人耳对声音频率变化的反应，人们把可听到的频率范围分成数段，按每段内的声音强度进行分析。可以使用滤波器把一段一段的频率成分选出来进行测量，这种滤波器只能允许一定范围的频率成分通过，其它频率成分被衰减掉。

在声学测量中常常使用的是带通滤波器，带通滤波器只允许一定频率范围（通带）内的信号通过，高于或低于这一频率范围的信号不能通过。图2-10中虚线画出了理想带通滤波器的幅度特性，在 f_1 至 f_2 频率范围（通带）内信号不衰减， f_1 以下及 f_2 以上频率范围（阻带）信号全部被衰减到为0。 f_1 和 f_2 分别称为滤波器的下限截止频率和上限截止频率。但是，实际滤波器在通带内不可能没有衰减，在阻带内亦不可能衰减到0。图4.2-10亦画出了实际滤波器的幅频特性（实线），一般认为实际滤波器的幅频特性降低到0.707（-3dB）处为其通带范围，即在截止频率 f_1 和 f_2 处幅度衰减到0.707，即所谓半功率点。

带通滤波器又分为恒带宽滤波器和恒百分比带宽滤波器。恒带宽滤波器是每一个滤波器的带宽是恒定的，例如6Hz、10Hz；而恒百分比带宽滤波器是每一个滤波器的带宽是恒定的百分比，例如3%、10%。

倍频程和1/3倍频程滤波器是常用的恒百分比带宽滤波器。所谓一个倍频程，就是上限频率 f_2 比下限

频率 f_1 高一倍，例如从707Hz~1414Hz就是一个倍频程。在音乐乐谱中1与 $\dot{1}$ ，2与 $\dot{2}$ 之间均差一个倍频程。所以倍频程又叫音程，在音乐中又叫高八度。但是1/3倍频程并不是上限频率比下限频率高1/3倍，而是上限频率为下限频率的 $2^{1/3} = \sqrt[3]{2} = 1.26$ 倍。一般说来， $f_2/f_1=2^n$ ，式中n可以是整数，也可以是分数；既可以是正数也可以是负数。当n是正数时表示 f_2 比 f_1 高，当n是负数时表示 f_2 比 f_1 低。n=1即为1倍频程，n=1/3即为1/3倍频程。知道了 f_2 和 f_1 就可以知道其中心频率 f_0 ：

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2} \tag{1-7}$$

同样，知道了 f_0 就可以求出 f_1 和 f_2 。对于倍频程来说， $f_2 = \sqrt{2} f_0 = 1.414 f_0$ ， $f_1 = (1/\sqrt{2}) f_0 = 0.707 f_0$ 。对于1/3倍频程， $f_2 = \sqrt[3]{2} f_0 = 1.123 f_0$ ， $f_1 = (1/\sqrt[3]{2}) f_0 = 0.89 f_0$ 。

为了统一起见，国际标准化组织（ISO）规定了倍频程和1/3倍频程的中心频率，倍频程的中心频率及频率范围见表1.1。由表可以看出十个倍频程包括了声频的整个频率范围。

GB/T3241-1998(等同IEC61260-1995)《倍频程和分数倍频程滤波器》标准规定了滤波器的中心频率、频带宽度和衰减特性等要求，该标准按特性要求不同而将滤波器分为0，1，2三个级别。与老标准IEC225比较，新标准要求更加详细、严格，满足老标准只相当于达到新标准2级要求。

表1.1 倍频程频率范围

中心频率（Hz）	31.5	63	125	250	500
频率范围（Hz）	22.5 -45	45 -90	90 -180	180 -354	354 -707
中心频率（Hz）	1000	2000	4000	8000	16000
频率范围（Hz）	707 -1414	1414 -2828	2828 -5656	5656 -11212	11212 -22424

以中心频率（Hz）为横坐标，以声压级(dB)为纵坐标，作出噪声按倍频带或1/3倍频带的声压分布图，就一目了然地通观噪声的特性。这个方法称为噪声的倍频带或1/3倍频带频谱分析。

图1.2和图1.3分别画出两种机器的倍频带和1/3倍频带噪声频谱。

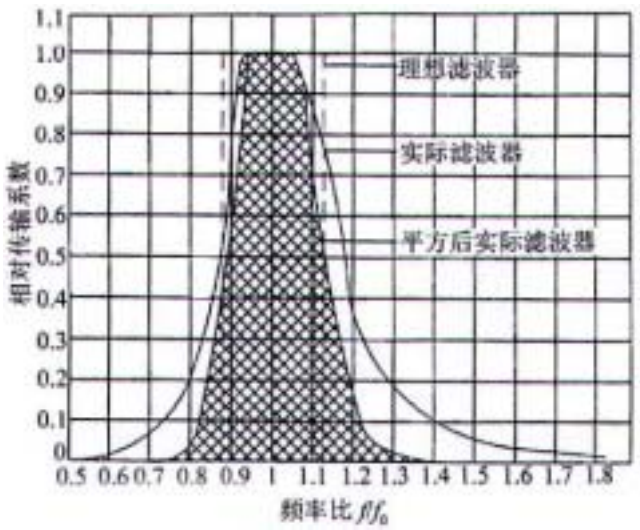


图4.2-10 滤波器的幅度频率特性

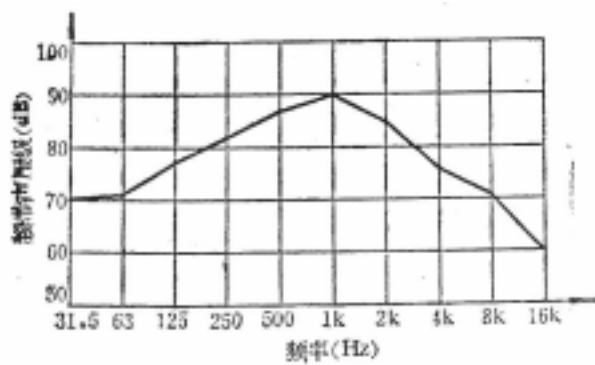


图1.2 空气压缩机噪声频谱（倍频程）

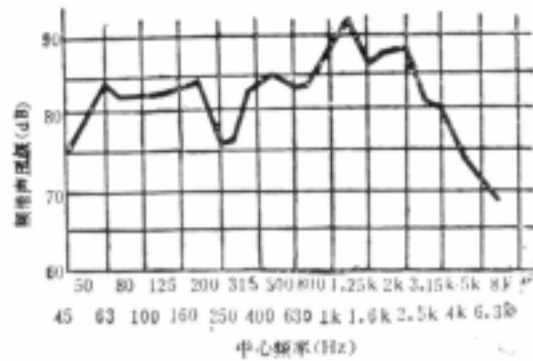


图1.3 离心鼓风机噪声频谱（1/3倍频程）

在噪声控制工作中，了解噪声源的频谱很重要，降低不同频率成分的噪声，采用的控制方法及选用的声学材料也不一样。对症下药，才能有效合理地降低噪声。

三、噪声的危害

（一）噪声对听力的损伤

短时间处于高噪声环境中，双耳难受、头痛、不舒服，过一段时间适应了，但这以后，双耳嗡鸣，一般令听力损失15dB。休息几小时后，听力会逐渐恢复，这叫暂时性听力损伤（听阈偏移、听觉疲劳），听觉器官未受到器质性损害。

如果长期在高噪声环境下工作，日积月累，内耳器官会发生器质性病变，听觉疲劳不能恢复，成为永久性听阈偏移，这就是噪声性耳聋。

如何确定为耳聋？ISO规定在500、1000、2000Hz三个倍频程内听阈提高的平均值在25dB以上时，即认为听力受到损伤，又叫轻度噪声性耳聋。

噪声性耳聋与噪声强度、频率以及作用时间的长短有关。强度越大，频率越高，作用时间越长，噪声性耳聋发病率就越高。工人在85dB(A)环境下工作15年，发病率为5%。90dB为14%。105dB则达50%以上。如达到120dB，即使短时间也会造成永久性听力损伤。当达到140dB时，听觉器官会发生急性创伤，致使鼓膜破裂出血，双耳突然失听，这是一次性使人耳聋的恶性噪声性耳聋。

噪声性耳聋分两种情况：一是机械传导性耳聋，由外耳道阻塞、耳鼓或听觉系统损坏或功能降低引起。二是神经感觉性耳聋，由耳蜗中听觉神经功能衰退引起，也可由传导神经和大脑听觉中枢功能的降低引起。

噪声性耳聋两个特征：一是有一个持续积累的过程，一开始感觉不明显，容易被忽视；二是不能治愈。

（二）噪声对健康的影响

1. 作用于人的中枢神经系统，引起头痛、脑胀、耳鸣、失眠、全身无力、为神经官能症。

2. 引起消化不良, 食欲不振、恶心呕吐、导致肠胃病和溃疡病。

3. 引起心跳加快, 心律不齐, 血压升高, 动脉硬化, 冠心病。

4. 视觉器官: 眼睛、视力减退、眼花、使劳动生产率下降。

5. 内分泌功能影响, 胎儿正常发育的影响, 及胎儿听觉器官影响。机场噪声无论大小对儿童健康都有不良影响, 引起儿童的血压升高和紧张荷尔蒙凝聚度显著上升。

(三) 噪声对正常生活和工作的干扰

1. 影响睡眠。40dB (A) 连续噪声使10%的人睡眠受到影响, 70dB (A) 影响50%。突发噪声40dB (A), 可使10%的人惊醒, 60dB可使70%的人惊醒。我国大城市的交通噪声(70~85dB)、火车噪声(75dB)、飞机噪声(95~120dB)、工厂噪声(60~70dB)、建筑施工噪声(80~90dB), 均会影响居民的睡眠。

2. 影响交谈和通讯。通常谈话声不大于70dB, 大声可达85dB, 当噪声级与谈话声级相接近时, 正常交谈会受到干扰。噪声级比谈话声级高10dB以上时, 谈话声安全被掩蔽。一般65dB噪声就会干扰普通谈话, 必须提高嗓门或靠近距离才能交谈。如果噪声级超过90dB, 大喊大叫也听不清。

3. 影响工作。分散人的注意力, 使人容易疲劳, 反应迟钝, 影响工作效率, 增高工作差错率。上课时受噪声干扰, 使教师提高嗓门, 增加劳累, 学生分散注意力, 影响教学效果。

(四) 特强噪声能损害仪器设备和建筑物。

噪声引起仪器设备振动, 高噪声超过135dB时, 会使电子仪器发生故障; 超过150dB时, 元器件可能损坏。在特强噪声作用下, 会使材料或结构产生疲劳而断裂——声疲劳现象。

高噪声超过140dB, 如超音速飞机低空掠过时, 引起轰声, 会使建筑物门窗损坏, 墙面开裂, 屋顶掀起, 烟囱倒塌等等。

第二章 噪声的评价

一、响度级和响度

声压和声强都是客观物理量, 声压越高, 声音越强; 声压越低, 声音越弱, 但是它们不能完全反映人耳对声音的感觉特性。

人耳对声音的感觉, 不仅和声压有关, 也和频率有关。一般对高频声音感觉灵敏, 对低频声音感觉迟钝, 声压级相同而频率不同的声音听起来可能不一样响。为了既考虑到声音的物理量效应, 又考虑到声音对人耳听觉的生理效应, 把声音的强度和频率用一个量统一起来, 人们仿照声压级引出了一个响度级的概念。

使用等响实验方法, 可以得到一族不同频率、不同声压级的等响度曲线。实验时用1000Hz的某一强度(例如40dB) 的声音为基准, 用人耳试听的办法与其它频率(例如100Hz) 声音进行比较, 调节此声音的声压级, 使它与1000Hz声音听起来响度相同, 记下此频率的声压级(例如50dB)。再用其它频率试

验并记下它们与1000Hz声音响度相等的声压级,将这些数据画在坐标上,就得到一条与1000Hz、40dB声压级等响的曲线。这条曲线用1000Hz时的声压级数值来表示它们的响度级值,单位为方,这里就是40方。同样以1000Hz其它声压级的声音为基准,进行不同频率的响度比较,可以得出其它的等响度曲线。经过大量试验得到的并由国际标准化组织(ISO)推荐为标准的等响度曲线示于图2.1。

从等响度曲线可以看出:

(1) 当响度级比较低时,低频段等响度曲线弯曲较大,也就是不同频率的响度级(方值)与声压级(dB值)相关很大,例如同样40方响度级,对1000Hz声音来说声压级是40dB,对100Hz声音是50dB,对40Hz声音是70dB,对20Hz声音是90dB。

(2) 当响度级高于100方时,等响度曲线变得比较平坦,也就是声音的响度级主要决定于声压级,与频率关系不大。

(3) 人耳对高频声音,特别是3000~4000Hz的声音最敏感,而对低频声音则频率越低越不敏感。

响度级虽然定量地确定了响度感觉与频率和声压级的关系,但是却未能确定这个声音比那个声音响多少。例如一个80方的声音比另一个50方的声音究竟响几倍?为此人们引出了响度的概念。1947年国际标准化组织采用了一个新的主观评价量——宋,并以40方为1宋。响度级每增加10方,响度增加一倍,如50方为2宋,60方为4宋等。其表示式为:

$$S = 2^{\frac{L_N - 40}{10}} \quad (\text{宋}) \quad (2-1)$$

或

$$\lg S = 0.03(L_N - 40) \quad (2-2)$$

式中: S是响度(宋), L_N 是响度级(方)。

用响度表示声音的大小可以直接计算出声音响度增加或降低的百分数。如果声源经过隔声处理后响度级降低了10方,相当于响度降低了50%;响度级降低20方,相当于响度降低了75%等等。

等式(2-1)和(2-2)只适用于纯音和窄带噪声,对于一般的宽带噪声则要采用响度指数的计算方法,或者利用史蒂文斯响度指数表来查找倍频带或1/3倍频带声压级对应的响度指数。

二、声级和A声级

声压级只反应声音强度对人响度感觉的影响,不能反映声音频率对响度感觉的影响。响度级和响度解决了这个问题,但是用它们来反映人们对声音的主观感觉过于复杂,于是又提出了计权声压级的概念。

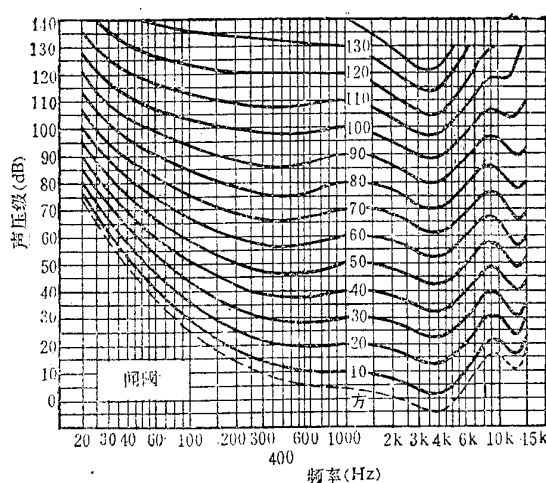


图 2.1 等响度曲线

计权声压级就是用一定频率计权网络测量得到的声压级，计权声压级简称声级。

在声学测量仪器中，通常根据等响度曲线，设置一定的频率计权电网络，使接收的声音按不同程度进行频率滤波，以模拟人耳的响度感觉特性。当然我们不可能做无穷多个电网络来模拟无穷多根等响度曲线，一般设置A、B和C三种计权网络，其中A计权网络是模拟人耳对40方纯音的响度，当信号通过时，其低、中频段（1000Hz以下）有较大的衰减。B计权网络是模拟人耳对70方纯音的响度，它对信号的低频段有一定衰减。而C计权网络是模拟人耳对100方纯音的响度，在整个频率范围内有近乎平直的响应。A、B、C计权的频率响应曲线（计权曲线）已由国际电工委员会（IEC）定为标准，并示于图2.2。IEC61672-1：2002规定了A、C及Z（不计权）频率计权相对响应及允许误差见表2.1（包括最大测量扩展不确定度）。

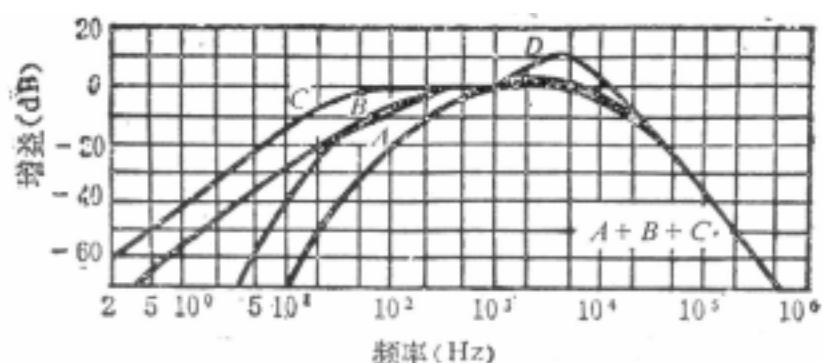


图2.2 频率计权相对响应曲线

利用具有一定频率计权网络和时间计权的声学测量仪器对声音进行声压级测量，所得到的读数称计权声压，简称声级，单位为dB。使用什么计权网络应在测量值后面注明，如70dB（C）或C声级70dB。如果没有注明，通常就是指A声级。

某时间 t 的A计权和时间计权声级 $L_A(t)$ 用下式表示：

$$L_A(t) = 20 \lg \left\{ \left[\frac{1}{T} \int_{-\infty}^t p_A^2(\xi) e^{-\frac{(t-\xi)}{\tau}} d\xi \right]^{1/2} / p_0 \right\} \dots\dots\dots (2-3)$$

式中：——时间计权 F 或 S 的指数时间常数，s；

——从过去的某时刻，例如积分下限 $-\infty$ ，到观测时刻 t 的时间积分的变量；

$p_A(\)$ ——A 计权瞬时声压；

p_0 ——基准声压。

在公式（2-3）中，取对数运算的函数式的分子是在观察时间 t 上对频率计权声压取指数时间计权的方均根值。

公式（2-3）的表达过程可用图 2.3 的示意图说明。

表 2.1 频率计权和允差（包括最大测量扩展不确定度）

标称频率 ^a Hz	频率计权 ^b dB			允差 dB		最大测量扩展 不确定度 dB
	A	C	Z	1级	2级	
10	-70.4	-14.3	0.0	+3.5; -∞	+5.5; -∞	0.5
12.5	-63.4	-11.2	0.0	+3.0; -∞	+5.5; -∞	
16	-56.7	-8.5	0.0	+2.5; -4.5	+5.5; -∞	
20	-50.5	-6.2	0.0	±2.5	±3.5	
25	-44.7	-4.4	0.0	+2.5; -2.0	±3.5	
31.5	-39.4	-3.0	0.0	±2.0	±3.5	
40	-34.6	-2.0	0.0	±1.5	±2.5	
50	-30.2	-1.3	0.0	±1.5	±2.5	
63	-26.2	-0.8	0.0	±1.5	±2.5	
80	-22.5	-0.5	0.0	±1.5	±2.5	
100	-19.1	-0.3	0.0	±1.5	±2.0	
125	-16.1	-0.2	0.0	±1.5	±2.0	
160	-13.4	-0.1	0.0	±1.5	±2.0	0.4
200	-10.9	0.0	0.0	±1.5	±2.0	
250	-8.6	0.0	0.0	±1.4	±1.9	
315	-6.6	0.0	0.0	±1.4	±1.9	
400	-4.8	0.0	0.0	±1.4	±1.9	
500	-3.2	0.0	0.0	±1.4	±1.9	
630	-1.9	0.0	0.0	±1.4	±1.9	
800	-0.8	0.0	0.0	±1.4	±1.9	
1 000	0	0	0	±1.1	±1.4	
1 250	+0.6	0.0	0.0	±1.4	±1.9	
1 600	+1.0	-0.1	0.0	±1.6	±2.6	0.6
2 000	+1.2	-0.2	0.0	±1.6	±2.6	
2 500	+1.3	-0.3	0.0	±1.6	±3.1	
3 150	+1.2	-0.5	0.0	±1.6	±3.1	
4 000	+1.0	-0.8	0.0	±1.6	±3.6	
5 000	+0.5	-1.3	0.0	±2.1	±4.1	
6 300	-0.1	-2.0	0.0	+2.1; -2.6	±5.1	
8 000	-1.1	-3.0	0.0	+2.1; -3.1	±5.6	
10 000	-2.5	-4.4	0.0	+2.6; -3.6	+5.6; -∞	
12 500	-4.3	-6.2	0.0	+3.0; -6.0	+6.0; -∞	1.0
16 000	-6.6	-8.5	0.0	+3.5; -17.0	+6.0; -∞	
20 000	-9.3	-11.2	0.0	+4.0; -∞	+6.0; -∞	
a 标称频率由GB/T3240-1982[5]中的表1 给出。 b C和A频率计权用公式(6)和(7)计算出来, 频率 f 由 $f = (f_r)[10^{0.1(n-30)}]$ 计算, 这里 $f_r=1\text{kHz}$; n 是10到43之间的一个整数。结果修约到十分之一分贝。						

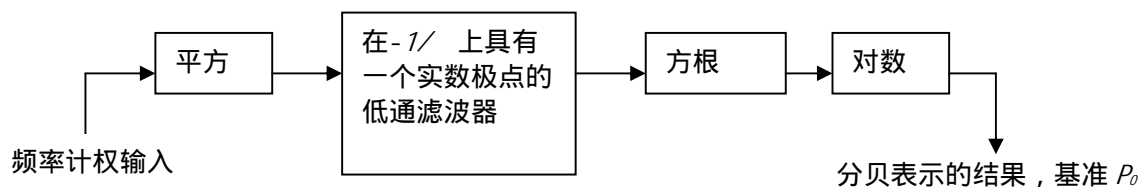


图 2.3 形成指数时间计权声级的主要步骤

表2.2列了几种常见声源的A声级。

表2.2 几种常见声源的A声级 (测点距离声源1-1.5m)

A声级[dB(A)]	声源
20~30	轻声耳语
40~60	普通室内
60~70	普通交谈声，小空调机
80	大声交谈，收音机，较吵的街道
90	空压机站，泵房，嘈杂的街道
100~110	织布机，电锯，砂轮机，大鼓风机
110~120	凿岩机，球磨机，柴油发动机
120~130	风钎，高射机枪，螺旋桨飞机
130~150	高压大流量放风，风洞，喷气式飞机，高射炮
160以上	宇宙火箭

在实际测量时到底用哪一种计权网络呢？以前曾有规定，声级小于70dB时用A网络测量，声级大于70dB但小于90dB时用B网络测量，声级大于90dB时用C网络测量。近年来研究表明，不论噪声强度多少，利用A声级都能较好地反应噪声对人吵闹的主观感觉和人耳听力损伤的影响。因此，现在基本上都用A声级来作为噪声评价的基本量，而且如果不另作说明，都是指的A声级。C声级只作为可听声范围的总声压级的读数来使用，B声级基本上不用了。有时只是为了判断噪声的频率特性，才附带测量C声级。因为如果A、C两种声级基本相同，该噪声特性是高频特性；如果C声级小于A声级，该噪声为中频特性；如果C声级大于A声级，则该噪声为低频特性。

在有些声学测量仪器中还具有D计权网络。它主要用于航空噪声的测量。用D计权网络测得的D声级再加上7dB，就直接得到飞机噪声的感觉噪声级。D网络频率响应特性亦示于图2.2中，它的响应特性对应于倒置的40呐等噪度曲线（见图2.5）。目前，D计权也已不使用，有关的标准也已不再规定它们的特性。

三、时间平均声级或等效连续声级 L_{eq}

A声级能够较好地反映人耳对噪声的强度和频率的主观感觉，对于一个连续的稳定噪声，它是一种较好的评价方法。但是对于起伏的或不连续的噪声，很难确定A声级的大小。例如我们测量交通噪声，当有汽车通过时噪声可能是75dB，但当没有汽车通过时可能只有50dB，这时就很难说交通噪声是75dB还是50dB。又如一个人在噪声环境下工作，间歇接触噪声与一直接触噪声对人的影响也不一样，因为人所接触的噪声能量不一样。为此提出了用噪声能量平均的方法来评价噪声对人的影响，这就是时间平均声级或等效连续声级，用 L_{eq} 表示。这里仍用A计权，故亦称等效连续A声级 L_{Aeq} 。

等效连续A声级定义为：在声场中某一定位置上，用某一段时间能量平均的方法，将间歇出现的变化A声级以一个A声级来表示该段时间内的噪声大小，并称这个A声级为此时间段的等效连续A声级，即：

$$L_{eq} = 10 \lg \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{P_A(t)}{P_0} \right]^2 \cdot dt \right\}$$

$$= 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1 L_A} dt \right) \quad (2-4)$$

式中： $p_A(t)$ 是瞬时A计权声压； p_0 是参考声压（ 2×10^{-5} Pa）； L_A 是变化A声级的瞬时值，单位dB；T是某段时间的总量。

实际测量噪声是通过不连续的采样进行测量，假如采样时间间隔相等，则：

$$L_{eq} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_{Ai}} \right) \quad (2-5)$$

式中：N是测量的声级总个数， L_{Ai} 是采样到的第i个A声级。

对于连续的稳定噪声，等效连续声级就等于测得的A声级。

四、昼夜等效声级

通常噪声在晚上比白天更显得吵，尤其对睡眠的干扰是如此。评价结果表明，晚上噪声的干扰通常比白天高10dB。为了把不同时间噪声对人的干扰不同的因素考虑进去，在计算一天24h的等效声级时，要对夜间的噪声加上10dB的计权，这样得到的等效声级为昼夜等效声级，以符号 L_{dn} 表示：

$$L_{dn} = 10 \lg_{10} \left[\frac{1}{24} \left(16 \times 10^{L_d/10} + 8 \times 10^{(L_n+10)/10} \right) \right] \quad (2-6)$$

式中： L_d ——白天的等效声级； L_n ——夜间的等效声级。

白天与夜间的时间定义可依地区的不同而异。16为白天小时数（6:00~22:00），8为夜间小时数（22:00~第二天6:00）。

五、声暴露级 L_{AE}

对于单次或离散噪声事件，如锅炉超压放气，飞机的一次起飞或降落过程，一辆汽车驶过等等，可用“声暴露级” L_{AE} 来表示这一噪声事件的大小：

$$L_{AE} = 10 \lg \left[\frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad (3.6)$$

式中 $P_A(t)$ 为声压、 P_0 为参考声压级，（ t_2-t_1 ）为该噪声事件对声能有显著贡献的足够长的时间间隔。 t_0 为参考时间，一般不注明时取 t_0 为1秒。

如一单次噪声事件的时间过程如图2.4所示，则在确定（ t_2-t_1 ）的时间间隔时，可取最高声级以下降低10dB以内的总能量计算，就不会引起不可忽略的误差了。如果用积分式声级计进行声暴露级的自动

测量，就可按此原则进行设计。声暴露级本身是单次噪声事件的评价量，此外，知道了单次噪声事件的声暴露级，也可从它计算T时段内的等效声级。如果在T时段内有n个单次噪声事件，其声暴露级分别为 L_{AEi} ，则T时段内的等效声级为：

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left[\frac{t_o}{T} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_{AEi}} \right] \quad (3.7)$$

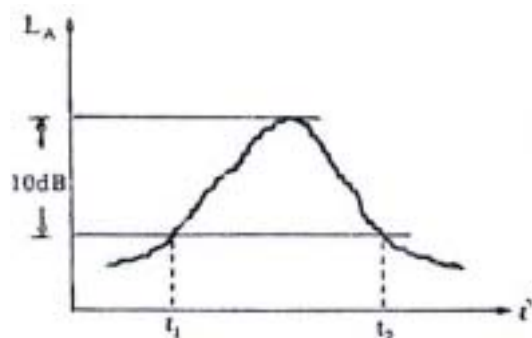


图2.4 单次噪声事件

六、噪声暴露量（噪声剂量）

一个人在一定的噪声环境下工作，也就是暴露在噪声环境下时，噪声对人的影响不仅与噪声的强度有关，而且与噪声暴露的时间有关。为此，提出了噪声暴露量，并用E表示，单位是 $\text{Pa}^2 \cdot \text{h}$ （帕²·小时）。

噪声暴露量E定义为噪声的A计权声压值平方的时间积分，即：

$$E = \int_0^T [P_A(t)]^2 dt \quad (2-7)$$

式中：T是测量时间（h）， $p_A(t)$ 是瞬时A计权声压。

假如 $p_A(t)$ 在试验期保持恒定不变，则：

$$E = P_A^2 T \quad (2-8)$$

$1\text{Pa}^2 \cdot \text{h}$ 相当于84.95~85dB声级暴露了8h，我国《工业企业噪声卫生标准》（试行草案）中，规定工人每天工作8h，噪声声级不得超过85dB，相应的噪声暴露量为 $1\text{Pa}^2 \cdot \text{h}$ 。如果工人每天工作4h，允许噪声声级增加3dB，噪声暴露量仍保持不变。

某一时间内的等效连续声级（ L_{eq} ）与噪声暴露量（E）之间的关系为：

$$L_{eq} = \left(10 \lg \frac{E}{T P_0^2} \right) \text{dB} \quad (2-9)$$

有的国家将噪声暴露量用噪声剂量来表示，并以规定的允许噪声暴露量作为100%，例如以 $1\text{Pa}^2 \cdot \text{h}$ 作为100%，则 $0.5\text{Pa}^2 \cdot \text{h}$ 噪声剂量为50%， $2\text{Pa}^2 \cdot \text{h}$ 为200%等等。

七、累计百分声级（统计声级） L_N

由于环境噪声，如街道、住宅区的噪声，往往呈现不规则且大幅度变动的情况，因此需要用统计的方法，用不同的噪声级出现的概率或累积概率来表示。定义为：累计百分声级 L_N 表示某一A声级，且大于此声级的出现概率为N%。如 $L_5=70\text{dB}$ 表示整个测量期间噪声超过70dB的概率占5%。 L_{10} ， L_{95} 的意义依此类推。

L_5 相当于峰值平均噪声级， L_{50} 相当于平均噪声级，又称中央值， L_{95} 相当于背景噪声级（或叫本底噪声级）。如果测量是按一定时间间隔（例如每5s一次）读取指示值，那么 L_{10} 表示有10%的数据比它高， L_{50} 表示有50%的数据比它高， L_{90} 表示有90%的数据比它高。

如果噪声级的统计特性符合正态分布，那么：

$$L_{eq} = L_{50} + \frac{d^2}{60} \quad (2-10)$$

式中： $d=L_{10}-L_{90}$ 。如果噪声级的统计特性符合对称正态分布，则 $L_{10}-L_{50}$ 与 $L_{50}-L_{90}$ 应该相同。如不对称则差值不同，差值越大说明分布越不集中。

八、交通噪声指数

通常，起伏的噪声比稳态的噪声对人的干扰更大，交通噪声指数就是考虑到了噪声起伏的影响，加以计权而得到的，通常记为TNI。因为噪声级的测量是用A计权网络，所以它的单位为dB(A)，其数学表达式为：

$$TNI=L_{90}+4d-30, \quad d=L_{10}-L_{90} \quad (2-11)$$

d反映了交通噪声起伏的程度，d越大，表示噪声起伏越大，则TNI也越大，也就是说，对人的干扰越大。噪声干扰亦同噪声的本底有关， L_{90} 越高，即本底越大，对人的干扰也越大。

九、标准偏差和噪声污染级

标准偏差SD（或 σ ）也可表示噪声起伏大小：

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\overline{L_A} - L_{Ai})^2} \quad (2-12)$$

式中： $\overline{L_A}$ 为整个采样时间内所有A声级的算术平均值， L_{Ai} 为第i个瞬时A声级，N为总的采样次数。

噪声污染级NPL也是用以评价噪声对人影响的一种方法，它是用噪声能量平均值和标准偏差来表示的：

$$NPL=L_{eq}+2.56\sigma \quad (\text{dB}) \quad (2-13)$$

在正态分布条件下，噪声污染级可用累积百分声级来表示：

$$NPL=L_{50}+d+\frac{d^2}{60} \quad (\text{dB}) \quad (2-14)$$

十、噪声评价数NR

噪声评价数NR是国际标准化组织1961年推荐的方法，它由图2.5的一簇噪声评价数曲线（即NR曲线）所组成，并推荐了作为听力损伤、会话干扰、烦恼的噪声评价数N。近年来各国规定的噪声标准，都是以A声级（或等效连续A声级）作为评价标准，参考NR曲线。对于大多数噪声（航空噪声例外）， $NR=L_A-5$ 。如保护听力标准为85dB，即相当于N-80，由N-80曲线即可知各倍频带声压级的允许标准。求噪声评价数的方法是把各倍频带声压级画在图上，超过这些值的最低曲线的NR值即所求的值。对听力保护和语言可懂度，只用500，1000，2000Hz三个倍频带。

十一、感觉噪声级（PNdB）和噪度（呐）

随着航空事业的发展，飞机噪声对人的危害日趋严重，为了评价航空噪声的影响，人们提出用感觉噪声级 L_{PN} 和噪度来进行评价。感觉噪声级的单位是PNdB，噪度的单位是呐，它们与响度级及响度相对应，但它们是以复合声音为基础的，而响度级和响度则是以纯音或窄带声为基础的。图2.6画出了等噪度曲线及噪度和感觉噪声级的换算图表，噪度为1呐的声音同一个40dB、中心频率为1000Hz的倍频带（或1/3倍频带）的无规噪声听起来有相等的吵闹感觉。

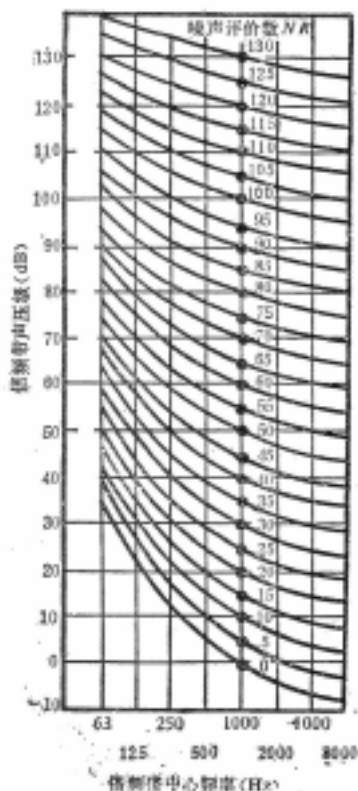


图 2.5 噪声评价曲线

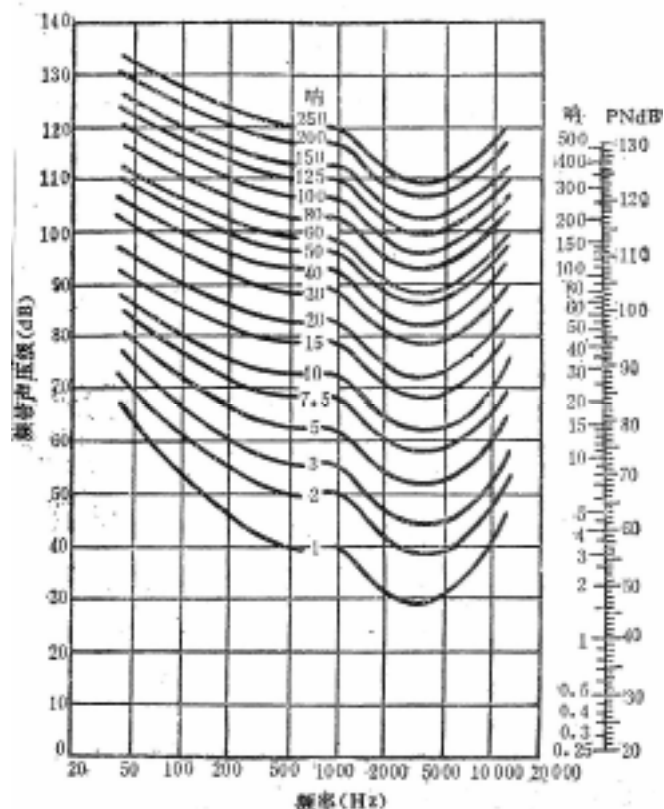


图 2.6 等噪度曲线和感觉噪声级的换算

感觉噪声级可通过以下方法进行测量和计算：首先测出某航空噪声的倍频带或1/3倍频带声压级，在图2.6等噪度曲线上查得各频带的噪度（呐），再根据下式算出总噪度NT：

$$NT = N_m + F \left(\sum_{i=1}^n N_i - N_m \right) \quad (2-15)$$

式中： N_m 是各噪度中最大的一个； $\sum_{i=1}^n N_i$ 是所有频带噪度之和； F 是系数，对于倍频程为0.30，对于1/3倍频程为0.15。然后由图2.6或按下式，将总噪度化为感觉噪声级：

$$L_{PN} = 40 + 33.3 \lg NT \quad (2-16)$$

对于具有用于航空噪声测量用的D计权网络的声级计，可以直接在测得的D计权声级上加7dB，就得到感觉噪声级PNdB。例如某飞机的D计权噪声级 $L_P = 140$ dB，则其感觉噪声级 L_{PN} 为147（PNdB），这就大大简化了测量和计算。

第三章 噪声允许标准

一、我国工业企业噪声卫生标准

规定新建、扩建、改建企业职工每天工作8小时，允许噪声不大于85dB(A)；对现有企业，允许放宽到90dB(A)。如每天接触（暴露）噪声不到8小时，暴露时间减半，允许噪声值可相应提高3dB(A)，这是根据等能量原理规定的。标准还规定最高声级不超过115dB(A)。执行这个标准，95%以上工人长期工作不致耳聋。

根据GBJ87-85《工业企业噪声设计规范》，工业企业厂区内各类地点噪声允许标准如下表：

序号	地点类别		噪声限制值（dB）
1	生产车间及作业场所（以每天连续接触噪声8小时）		90
2	高噪声车间设置的值班室、观察室、休息室 （室内背景噪声级）	无电话通讯要求时	75
		有电话通讯要求时	70
3	精密装配线、精密加工车间的工作地点、计算机房（正常工作状态）		70
4	车间所属办公室、实验室、设计室（室内背景噪声级）		70
5	主控制室、集中控制室、通讯室、电话总机室、消防值班室（室内背景噪声级）		60
6	厂部所属办公室、会议室、设计室、中心实验室（包括试验、化验、计量室） （室内背景噪声级）		60
7	医务室、教室、哺乳室、托儿所、工人值班宿舍（室内背景噪声级）		55

二、我国《城市区域环境噪声标准》(GB3096-93)

标准适用于城市区域，乡村生活区域可参照本标准执行。标准规定了城市五类区域的环境噪声最高限值，并以等效A计权声级来作为评价价值。

等效声级 L_{eq} ：dB

类 别	昼 间	夜 间
0	50	40
1	55	45
2	60	50
3	65	55
4	70	55

各类标准适用区域：

0类：适用于疗养区、高级别墅区、高级宾馆区等特别需要安静的区域，位于城郊和乡村的这一类区域分别严于0类标准5dB执行；

1类：适用于以居住、文教机关为主的区域，乡村居住环境可参照执行该类标准；

2类：适用于居住、商业、工业混杂区；

3类：适用于工业区；

4类：适用于城市中交通干线道路两侧区域，穿越城区的内河航道两侧区域。穿越城区的铁路主、次干线两侧区域的背景噪声（列车不通过时）限值也执行这类标准。

另规定，夜间突发的噪声，其最大值不准超过标准值15dB。

三、工业企业厂界噪声标准 (GB12348-90)

类 别	L _{eq} : [dB(A)]	
	昼 间	夜 间
I	55	45
	60	50
	65	55
	70	55

各类标准适用范围划分同城市区域环境噪声标准。

夜间频繁突发的噪声 (如排气噪声), 其峰值不准许超过标准值10dB(A), 偶然突发的噪声 (如短促鸣笛声), 不超过15dB(A)。

四、铁路边界噪声限值 (GB12525-90)

L _{eq} : [dB(A)]	
昼间	夜间
70	70

五、建筑施工场界噪声限值 (GB12523-90)

不同施工阶段作业噪声限值

施工阶段	主要噪声源	L _{eq} : [dB(A)]	
		噪声限值	
		昼间	夜间
土石方	推土机、挖掘机、装载机等	75	55
打 桩	各种打桩机等	85	禁止施工
结 构	混凝土搅拦机、振捣棒、电锯等	70	55
装 修	吊车、升降机等	65	55

表中所列噪声值是指与敏感区域相应的建筑施工场地边界线处的限值, 且如有几个施工阶段同时进行, 以高噪声阶段的限值为准。

六、机场周围飞机噪声环境标准 (GB9660-88)

计权等效连续感觉噪声级 L_{WECPN} : dB

适用区域	标准值
一类区域	70
二类区域	75

一类区域: 特殊住宅区; 居住、文教区。

二类区域: 除一类区域以外的生活区。

七、城市港口及江河两岸区域环境噪声标准（GB11339-89）

L _{eq} : [dB(A)]		
适用区域	昼 间	夜 间
一类	60	50
二类	70	55

一类区域指港区内住宅、文教、医院、机关所在地区及船流量每小时60艘以下的江河两岸地区。

二类区域指船流量每小时60艘以上的江河两岸地区。

八、超标环境噪声排污费征收标准

国家环保总局环境监察办公室《排污费收费标准（试行）及计算方法》规定，排污者产生环境噪声，超过国家规定的环境噪声排放标准，干扰他人正常生活、工作和学习的，按照超标的分贝数缴纳噪声超标排污费。收费标准见下表：

超标标准 dB(A)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16以上
征收款 (元/月)	350	440	550	700	880	1100	1400	1760	2200	2800	3520	4400	5600	7040	8800	11200

注明：1、一个单位边界上有多处环境噪声超标，征收额应根据最高一处超标声级计征，当沿厂界长度超过100米有2处及以上噪声超标，则加一倍收取。

2、一个单位若有不同地点的作业场所，收费应分别计算，合并收取。

3、昼、夜均超标的，分别计算，累计征收。

4、声源一个月内超标不足15天的（昼或夜），减半征收。

5、夜间频繁突发和夜间偶然突发厂界超标噪声排污费按等效声级和峰值噪声两种指针中超标分贝值高的一项计算排污费。

6、一个工地多个建筑施工阶段同时进行，按噪声限值最高的施工阶段计算收取超标噪声排污费。

九、汽车定置噪声限值(GB16170-1996)

适用范围：本标准适用于城市道路允许行驶的在用汽车噪声限值。

标准限值

[单位：dB(A)]

车辆类型	燃 料 种 类		车辆出厂日期	
			1998年1月1日前	1998年1月1日起
桥 车	汽 油		87	85
微型客车、货车	汽 油		90	88
轻型客车、 货车、越野车	汽 油	nr≤4300/min	94	92
		nr≥4300/min	97	95
	柴 油		100	98
中型客车、 货车、大型客车	汽 油		97	95
	柴 油		103	101
重型货车	N≤147kW		101	99
	N≥147kW		105	103

注：nr-汽车油缸转速；N-汽车牵引功率。

十、家用电器噪声限值标准

1、GB/T8059.2-1995 (5.5.7.1)《家用制冷器具 冷藏冷冻箱噪声声功率级限值》

适用范围：本标准适用于500L以下的封闭式电机驱动压缩机式家用冷藏冷冻箱的噪声性能检验，不适用于特殊用途的冷藏冷冻箱。

制冷器容积/L	声功率级/dB(A)
< 250	52
> 250	55

2、GB/T7725-1996 (5.2.15)《房间空气调节器噪声限值》

适用范围：本标准适用于制冷量在14000W以下的空气冷凝器、全封闭型电动机-压缩机的房间空气调节器的噪声性能检验。

额定制冷量/W	室内噪声/dB(A)		室外噪声/dB(A)	
	整体式	分体式	整体式	分体式
< 2500	≤53	≤45	≤59	≤55
2500~4500	≤56	≤48	≤62	≤58
> 4500~7100	≤60	≤55	≤65	≤62
> 7100		≤62		≤68

第四章 常用噪声测量仪器

一、声级计

声级计是根据国际标准和国家标准按照一定的频率计权和时间计权测量声压级的仪器，它是声学测量中最基本最常用的仪器，适用于室内噪声、环境保护、机器噪声、建筑噪声等各种噪声测量。

1. 声级计的分类

按精度来分：根据最新国际标准IEC61672-1：2002和国家计量检定规程JJG188-2002，声级计分为1级和2级两种。在参考条件下，1级声级计的准确度±0.7dB。2级声级计的准确度±1dB。（不考虑测量不确定度）

按功能来分：分为测量指数时间计权声级的常规声级计，测量时间平均声级的积分平均声级计，测量声暴露的积分声级计（以前称为噪声暴露计）。另外有的具有噪声统计分析功能的称为噪声统计分析仪，具有采集功能的称为噪声采集器（记录式声级计），具有频谱分析功能的称为频谱分析仪。

按大小来分：台式、便携式、袖珍式。

按指示方式：模拟指示（电表、声级灯）、数字指示、屏幕指示。

2. 声级计构造及工作原理。

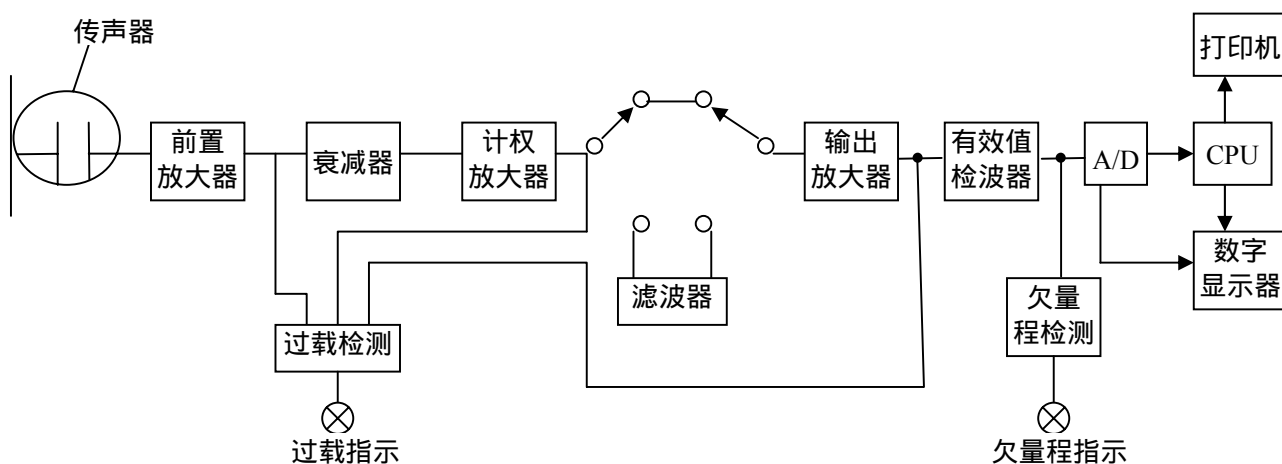


图4.1 声级计工作原理方框图

传声器：用来把声信号转换成电信号的换能器，在声级计中一般均用测试电容传声器，它具有性能稳定、动态范围宽、频响平直、体积小等特点。电容传声器由相互紧靠着的后极板和绷紧的金属膜片所组成（图4.2），后极板和膜片在电气上互相绝缘，构成以空气为介质的电容器的两个电极。两电极上加有电压（极化电压200V或28V），电容器充电，并贮存电荷。当声波作用在膜片上时，膜片发生振动，使膜片与后极板之间距离变化，电容也变化，于是就产生一个与声波成比例的交变电压信号，送到后面的前置放大器。现在，预先驻有电荷的预极化测试电容传声器已得到广泛应用，它不需要另加极化电压，使设备更加简单，而且防潮性能好。电容传声器的灵敏度有三种：自由场灵敏度、声压灵敏度和扩散场灵敏度。自由场是指声场中只有直达声而没有反射声的声场。扩散场是由声波在一封闭空间内多次漫反射而引起的，它满足下列条件：1）空间各点声能密度均匀；2）从各个方向到达某一点的声能流的概率相同；3）各方向到某点的声波相位是无规的。

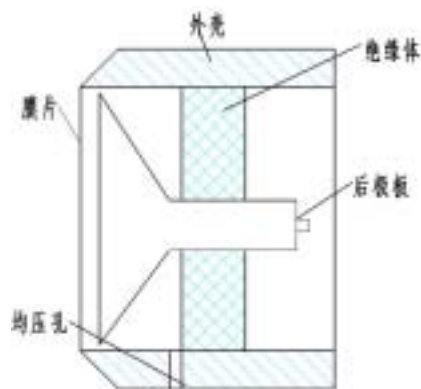


图 4.2 测试电容传声器简图

传声器自由场灵敏度是传声器输出端的开路电压与传声器放入前该点自由场声压之比值。传声器声压灵敏度是传声器输出端的开路电压与作用在传声器膜片上的声压之比值。传声器扩散场灵敏度是传声器输出端的开路电压与传声器未放入前该点扩散场声压之比值。

由于传声器放入声场某一点，声场产生散射作用，从而使实际作用在膜片上声压比传声器放入前该点的声压大，高频时比较明显。图4.3示出1英寸自由场响应电容传声器的三种灵敏度频响曲线。它们在1kHz以下是相同的而且基本平直，1kHz以上则响应不同。

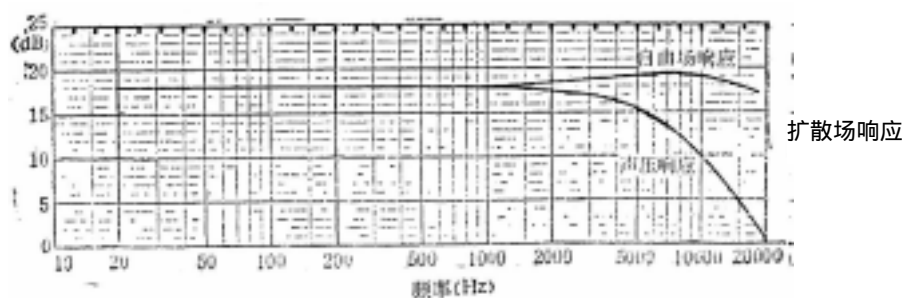


图4.3 1英寸自由场响应电容传声器的频响曲线

与三种灵敏度相对应，上述自由场灵敏度响应平直的传声器叫自由场型（或声场型）传声器，主要用于消声室等自由场测试，它能比较真实地测量出传声器放入前该点原来的自由场声压，声级计中就是使用这种传声器。声压灵敏度响应平直的传声器叫声压型传声器，主要用于仿真耳等腔室内使用。扩散场灵敏度响应平直的叫扩散场型传声器，用于扩散场测量，有的国家规定声级计用扩散场型传声器。

传声器灵敏度单位为V/Pa（或mV/Pa），并以1V/Pa为参考，叫灵敏度级。例如1/2英寸电容传声器标称灵敏度为50mV/Pa，灵敏度级为-26dB。传声器出厂时均提供它的灵敏度级以及相对于-26dB的修正值K，以便声级计内部电校准时使用。

传声器的外形尺寸有1英寸（ $\Phi 23.77\text{mm}$ ）、1/2英寸（ $\Phi 12.7\text{mm}$ ）、1/4英寸（ $\Phi 6.35\text{mm}$ ）、1/8英寸等。外径小，频率范围宽，能测高声级，方向性好，但灵敏度低，现在用得最多的是1/2英寸，它的保护罩外径为 $\Phi 13.2\text{mm}$ 。

前置放大器：由于电容传声器电容量很小，内阻很高，而后级衰减器和放大器阻抗不可能很高，因此中间需要加前置放大器进行阻抗变换。前置放大器通常由场效应管接成源极跟随器，加上自举电路，使其输入电阻达到几千兆欧以上，输入电容小于3pF，甚至0.5pF。输入电阻低影响低频响应，输入电容大则降低传声器灵敏度。

衰减器：将大的信号衰减，提高测量范围。

计权放大器，将微弱信号放大，按要求进行频率计权（频率滤波），A、B、C及D频率计权频率响应见图2.1。声级计中一般均有A计权，另外也可有C计权或不计权（Zero，简称Z）及平直特性（F）。

有效值检波器：将交流信号检波整流成直流信号，直流信号大小与交流信号有效值成比例。检波器要有一定的时间计权特性，在指数时间计权声级测量中，“F”特性时间常数为0.125s，“S”特性时间常数为1s。在时间平均声级中，进行线性时间平均。为了测量不连续的脉冲声和冲击声，有的声级计设置有“I”特性，它是一种快上升、慢下降特性，上升时间常数为35ms，下限时间常数为1s。但是，I特性并不反应脉冲声对人耳的影响，在新的声级计标准中已不建议使用I计权特性。新的声级计标准还规定可以有测量峰值C声级的功能，它测量C声级的峰值。通常的检波器都是模拟检波器，这种检波器动态范围小，温度稳定性差。我公司已在产品中普遍采用数字检波器，大大提高了动态范围和稳定性。

电表：模拟指示器，用来直接指示被测声级的分贝数。

A/D：将模拟信号变换成数字信号，以便进行数字指示或送CPU进行计算、处理。

数字指示器：以数字形式直接指示被测声级的分贝数，读数更加直观。数字显示器件通常为液晶

显示 (LCD) 或发光数码管显示 (LED), 前者耗电省, 后者亮度高。采用数字指示的声级计又称为数显声级计、如AWA5633D/P数显声级计。

CPU: 微处理器 (单片机), 对测量值进行计算、处理。

电源: 一般是DC/DC, 将供电电源 (电池) 进行电压变换及稳压后, 供给各部分电路工作。

11 打印机: 打印测量结果, 通常使用微型打印机。

表4.1 中列出了几种一般用途声级计的性能。

二、积分平均声级计和积分声级计 (噪声暴露计)

积分平均声级计是一种直接显示某一测量时间内被测噪声的时间平均声级即等效连续声级 (L_{eq}) 的仪器, 通常由声级计及内置的单片计算机组成。单片机是一种大规模集成电路, 可以按照事先编制的程序对资料进行运算、处理, 进一步在显示器上显示。积分平均声级计的性能应符合IEC61672-1: 2002标准和JJG188-2002声级计检定规程的要求。

积分平均声级计通常具有自动量程衰减器, 使量程的动态范围扩大到80~100dB, 在测量过程中无需人工调节量程衰减器。积分平均声级计可以预置时间, 例如为10s、1min、5 min、10min、.....1h、4h、8h等, 当到达预置时间时, 测量会自动中断。积分平均声级计除显示 L_{eq} 外, 还能显示声暴露级 L_{AE} 和测量经历时间, 当然它还可显示瞬时声级。声暴露级 L_{AE} 是在1s期间保持恒定的声级, 它与实际变化的噪声在此期间内具有相同的能量。声暴露级用来评价单发噪声事件, 例如飞机飞越、轿车和卡车开过时的噪声。知道了测量经历时间和此时间内的等效连续声级, 就可以计算出声暴露级。

积分平均声级计不仅测量出噪声随时间的平均值, 即等效连续声级, 而且可以测出噪声在空间分布不均匀的平均值, 只要在需要测量的空间移动积分平均声级计, 就测量出随地点变动的噪声的空间平均值。

积分平均声级计主要用于环境噪声的测量和工厂噪声测量, 尤其适宜作为环境噪声超标排污收费使用。典型产品有AWA5610C/D/P型积分平均声级计和AWA5670+C型噪声分析仪, 其主要性能指针见表4.1, 它们有的还具有测量噪声暴露量或噪声剂量的功能, 并可外接滤波器进行频谱分析。

表4.1 一般用途声级计的性能

型号	AWA5661	AWA5661A	AWA5661B	AWA5661C	AWA5633A	AWA5633D	AWA5633P
符合标准	GB/T3785 1型, IEC61672 Class 1						
频率范围(Hz)	20 ~ 16000	10 ~ 20000	16 ~ 16000	20 ~ 12500	20 ~ 8000		
测量范围	27 ~ 140dB(A) 38 ~ 140dB(L)	25 ~ 140dB(A) 35 ~ 140dB(L)	20 ~ 140dB(A) 30 ~ 140dB(L)	50 ~ 160dB(A) 63 ~ 160dB(L)	35 ~ 130dB(A)	40~130dB(A)	
传声器类型	φ12.7mm自由场(ov)	φ12.7mm自由场	φ12.7mm自由场(ov)	φ12.7mm自由场(28v)	φ12.7mm予极化测试电容传声器		
频率计权	A, C计权和Z (不计权)						
时间计权	F (快) S (慢) I (脉冲) Peak (峰值, 需计算机配合)						
显示器	3位半LCD, 有欠压指示、低限指示、过载指示						
测量方式	L _p , L _{max}						
滤波器	可外接AWA5721型倍频程滤波器或AWA5722型分数倍频程滤波器				外接AWA5721或AWA5722	——	
输出	AC, RS232C至计算机				AC	——	
电源	4xLR6或外接5V ~ 9V电源				4xR6或外接	2×LR03	
外形尺寸(mm)	220x72x32				210×72×32		
质量 (kg)	0.3						
传声器灵敏度	40mV/Pa	50mV/Pa	50mV/Pa	5mV/Pa	40mV/Pa		
检波器特性	数字检波, 真有效值, 峰值因子容量≥10						
特点	基本型	高性能	低声级测量	高声级测量	自动量程转换	通用型	笔式

表4.2 积分平均声级计和噪声暴露计的性能比较

型号名称	AWA5610D型 积分声级计	AWA5610C型 积分声级计	AWA6270+C型 噪声分析仪	AWA5610E型 个人声暴露计	AWA5610P型 积分声级计
符合标准	GB/T17181 2级, IEC61672 Class2		IEC61672 1级	GB/T15952 2级	GB/T17181 2级 IEC61672 Class2
频率范围(Hz)	20 ~ 8000		16 ~ 16000	20 ~ 8000	20~8000
测量范围	35 ~ 130dB(A) 0 ~ 999.9Pa ² ·h 0~9999%DL	35 ~ 130dB(A)	25 ~ 130dB(A) 30 ~ 130dB(C) 30 ~ 130dB(L)	50 ~ 140dB(A) 0 ~ 999.9Pa ² ·h	40 ~ 130dB(A) 0 ~ 19.99Pa ² ·h
传声器类型	Φ12.7mm 预极化测试传声器				
频率计权	A		A, C, Z (不计权)	A	
时间计权	F (快) S (慢) 及线性平均			F (快) 及线性平均	F (快) S (慢)
显 示 器	4位LCD		128 x 64点阵式 LCD, 带背光	4位LCD	
测量方式	L _p , L _{max} , L _{eq} , E, DI, T	L _p , L _{eq} , L _{max} , T, L _{min} , L _{inst}	L _p , L _{max} , L _{eq} , L _{min} , E, T	L _p , L _{max} , L _{eq} , L _N , E, T 等由计算机读出	L _p , L _{eq} , L _{max} , L _{AE} , E, T
积分测量时间	Man(手动), 10s, 1min, 10min, 15min, 20min, 1h, 4h, 8h, 24h		Man(手动), 10s, 1min, 10min, 15min, 20min, 1h, 4h, 8h, 24h	由计算机预先设定	Man(手), 10s, 1min, 10min, 15min, 20min, 1h, 4h, 8h, 24h
储 存	——	60组测试数据	1000组测试数据	28100个Leq值和256 个字节注释信息	——
滤 波 器	——		可加入1/1和1/3倍 频程滤波器模块	——	
输 出	AC, PWM	RS232C至微机 或微形打印机	RS232C, AC, DC	RS232至微机	——
内部时钟	——	日历时钟, 关机 后仍走动	日历时钟, 关机后 仍走动	——	
电 池	4 x R6		6 x LR6	2×LR03	2×LR03
外形尺寸(mm)	210 x 72 x 32		300x 90 x 36	180 x 25x 16	
质量 (kg)	0.3		0.6	0.08	0.08

用于测量声暴露的声级计称为积分声级计, 又称噪声暴露计。噪声暴露量E是噪声A计权声压值平方的时间积分, 见第二章之四。已知等效连续声级及噪声暴露时间T, 可由下式计算声暴露量, 单位为Pa²·h:

$$E = T \cdot P_0^2 \lg^{-1} \frac{Leq}{10} \quad (4-1)$$

作为个人使用的测量噪声暴露量的仪器叫个人声暴露计。另一种测量并指示噪声剂量的仪器叫噪声剂量计, 噪声剂量以规定的允许噪声暴露量作为100%。如规定每天工作8h, 噪声标准为85dB, 也就是噪声暴露量为1Pa²·h, 则以此为100%。对于其它噪声暴露量, 可以计算相应的噪声剂量值。但是各国的噪声允许标准不同而且还会修改, 又例如美国、加拿大等国家暴露时间减半, 允许噪声声级增加5dB, 而我国及其它大多数国家仅允许增加3dB。因此不同的国家、不同时期所指的噪声剂量不能互相比较。个人声暴露计主要用在劳动卫生、职业病防治所和工厂、企业对职工作业场所的噪声进行监测。典型产品是AWA5610P型积分声级计, 它的体积仅为一支钢笔大小, 可插在上衣口袋内进行测量, 可以直接显示声暴

露量、以及瞬时声级、等效声级和暴露时间等。另一种AWA5610E型个人声暴露计外形与AWA5610P相同，但它由微机对其进行设置，测试结果储存在机内再送微机进行分析处理。

三、噪声统计分析仪

噪声统计分析仪是用来测量噪声级的统计分布，并直接指示累计百分声级 L_N 的一种噪声测量仪器，它还能测量并用数字显示A声级、等效连续声级 L_{eq} ，以及用数字或百分数显示声级的概率分布和累计分布。它由声级测量及计算处理两大部门构成，计算处理由单片机完成。随着科学技术的进步，尤其是大规模集成电路的发展，噪声统计分析仪的功能越来越强，使用也越来越方便，国产的噪声统计分析仪已完全能满足环境噪声自动监测的需要。现以AWA6218B型噪声统计分析仪为例进行介绍。

AWA6218B型噪声统计分析仪是一种内装单片机（计算机）的智能化仪器，其最大优点是采用120X32点阵式LCD，既可显示数据，也可显示图表；既有数字显示，又有动态条图显示瞬时声级，而且可以同时显示8组数据。可以直接显示 $L_p, L_{eq}, L_{max}, L_{min}, L_5, L_{10}, L_{50}, L_{90}, L_{95}, SD, T, L_{AE}, E, L_d, L_n, L_{dn}$ 等16个测量值以及组号，可以设定11种测量时间，从手动、10s到24h。既可进行常规单次测量，也可进行24h自动监测，每小时测量一次，每次测量时间可以设定。仪器内部有日历时钟，关机后时钟仍在继续走动，因此不需每次开机后进行调整。该仪器还具有储存495组或24h测量数据的功能，平时只需将主机（仅0.5kg重）带至现场测量，测量结束后，数据自动储存在机内，将主机带回办公室接上打印机打印或送微型计算机进一步处理或存盘。储存数据可靠，不会丢失。所储数据还可以通过调阅开关调阅任一组数据，并将其单独打印出来。如发现该组数据不正常，也可通过删除键将其删除，补测一组数据替代。所配UP40TS打印机既可仅仅打印数据，也可既打印数据又打印统计分布图、累计分布图或24h分布图。尽管该仪器功能很多，但操作起来非常容易，人机接口友好，在任何时候使用者均能清楚知道仪器目前工作状态，例如显示的是什么数据，测量时间设定多长，是否在采样，是常规测试还是24h监测，储存数据组数是否已满等等。该仪器在每组测试后可以查阅瞬时值记录，利用“回删”功能，可以很科学且很方便地将异常（突发）噪声剔除， L_{eq} 、 L_N 等数据重新计算。它的外形设计对声波阻力小，电池既可用充电电池，也可用普通电池，更换非常方便。整机性能符合IEC61672-2002和JJG188-2002对2级积分声级计的标准。可以外接倍频程或1/3倍频程滤波器进行自动频谱分析，LCD上显示频谱图或表，也可由打印机打印或送微机进一步保存和处理。

AWA6218A型噪声统计分析仪，比AWA6218B功能更加强大，可作为噪声采集器，同时储存12万个瞬时值，可以进行机场环境噪声测量。

AWA6218C型噪声统计分析仪是早期的AWA6218的改型产品，体积小巧，操作简单，使用方便，更换电池也非常方便。

AWA6270+B型噪声分析仪，是最新设计的噪声测量和分析仪器，符合1级仪器的要求，可以进行噪声统计分析和24小时自动监测；可以加入1/1和1/3倍频程滤波器模块进行噪声频谱分析；也可加入噪声采集模块，作为噪声采集器，可以进行机场环境噪声测量。

表4.3 噪声统计分析仪性能比较

型号名称	AWA6270+B型 噪声分析仪	AWA6218A型 噪声统计分析仪	AWA6218B型 噪声统计分析仪	AWA6218C型 噪声统计分析仪
符合标准	GB/T3785和GB/T17181 1 型, IEC61672 1级	GB/T3785和GB/T17181 2型, IEC61672 2级		
频率范围 (Hz)	16~16000	31.5 ~ 8000		
测量范围	25 ~ 130dB(A)	35 ~ 130dB(A) 0.01 ~ 99.99Pa ² ·h		35 ~ 130dB(A)
频率计权	A , C , Z (不计权)			A
时间计权	F (快) S (慢)			
指 示 器	1208x 64点阵式LCD, 带 背光	120 x 32点阵式LCD, 带背光		4位LCD
测量方式	L _p , L _{eq} , L _{max} , L _{min} , L ₅ , L ₁₀ , L ₅₀ , L ₉₀ , L ₉₅ , SD, T, L _{AE} , E, L _d , L _n , L _{dn} 以及瞬时值动态条 图, 统计分布图, 24h分 布图	L _p , L _{eq} , L _{max} , L _{min} , L ₅ , L ₁₀ , L ₅₀ , L ₉₀ , L ₉₅ , SD, T, L _{AE} , E, L _d , L _n , L _{dn} 以及瞬时值动态条 图, 统计分布图, 24h分布图和频谱图。		L _p , L _{eq} , L _{max} , L _{min} , L ₅ , L ₁₀ , L ₅₀ , L ₉₀ , L ₉₅ , SD, T
积分测量时间	Man(手动), 10s, 1min, 5min, 10min, 15min, 20min, 1h, 4h, 8h, 24h	Man(手动), 1~59s, 1~59min, 1~24h	Man(手动), 10s, 1min, 5min, 10min, 15min, 20min, 1h, 4h, 8h, 24h	Man(手动), 10s, 1min, 5min, 10min, 20min, 1h, 4h, 8h, 24h
储 存	1000组数据	495组数据或12万 个瞬时值	495组数据, 可调阅 或打印	120组数据, 可调阅 或打印
滤 波 器	可加入1/1和1/3倍频程滤 波器模块	外接AWA5721或AWA5722		-
输 出	RS232C、AC、DC			RS232C
内部时钟	日历时钟, 关机后仍走动			
电 池	6 x LR6	5 x LR6		4 x LR6
外形尺寸(mm)	300 x 90 x 36	260 x 90 x 32		210 x 72 x 32
质量 (kg)	0.6	0.5		0.3

四、滤波器和频谱分析仪

噪声是由许多频率成分组成的, 为了了解这些频率成分, 需要进行频谱分析, 通常采用倍频程滤波器或1/3倍频程滤波器。这是两种恒百分比带宽的带通滤波器, 倍频程滤波器的带宽是100%, 1/3倍频程滤波器是23%。为了统一起见, IEC61260-1995国际标准及GB/T3241-1998国家标准对滤波器的中心频率、带宽及衰减特性等作了规定。

AWA5721型倍频程滤波器和AWA5722型分数倍频程滤波器是采用新型组件-开关电容滤波器设计制造的。它不需任何外部组件, 只需改变时钟频率, 就改变滤波器的中心频率。性能优良, 完全满足GB/T3241-1998对2级滤波器的要求, 大部分指标达到1级要求。它们主要用来配合AWA5661、AWA5633A等声级计、积分声级计使用, 组成频谱分析仪, 进行倍频程、1/3倍频程谱分析。当与AWA6218B型噪声统计分析仪配合使用时, 还可在LCD上列表显示每个频带的声压级或显示频谱分布图, 还可通过UP40TS打印机, 列表打印或打印频谱分布图。

有的仪器将声级计和滤波器装在一个机壳内组成频谱分析仪，如AWA6270+型噪声分析仪，是一种1级的性能优良的声学测试仪器。有不同硬件和软件模块组合，配置A模块可以进行倍频程、1/3倍频程谱分析和混响时间测量；配置B模块可以进行环境噪声测量和24h自动监测；配置C模块可以进行数据积分采集和机场噪声测量。仪器本底噪声低，动态范围大；128X64点阵式LCD，既可显示数据，也可显示频谱图表。另一种AWA6270A/B/C型噪声频谱分析仪内置倍频程滤波器，可以进行倍频程谱分析，也可进行统计分析。两种仪器都可以连接打印机及微机，将测量结果打印出来或进一步处理。

表4.4 噪声频谱分析仪与滤波器性能比较

型号名称 性能	AWA6270+A 噪声分析仪	AWA6270A/B/C 噪声频谱分析仪	AWA5721倍 频程滤波器	AWA5722分数倍频 程滤波器	AWA5722A分数倍频程 滤波器
准确度	1级	2级	2级	2级	2级
滤波器类型	倍频程和1/3倍频程	倍频程	倍频程	倍频程和1/3倍频程	1/1、1/3、1/6 倍频程及全通
滤波器 中心频率	倍频程： 31.5Hz ~ 16kHz,10 组 1/3倍频程： 25Hz ~ 16kHz,30组	31.5Hz ~ 8kHz, 9组	31.5Hz ~ 16kHz, 10组	倍频程： 31.5Hz ~ 16kHz,10组 1/3倍频程： 20Hz ~ 20kHz,30组	倍频程： 31.5Hz ~ 16kHz,10组 1/3倍频程： 25Hz ~ 20kHz,30组 1/6倍频程： 23.4Hz ~ 18.8kHz,59组
测量范围	25~130	35~130	——	——	——
动态范围/dB	70	60	60	60	60
显示器	128x64点阵式LCD，显示频谱表格或图形	4位LCD	LED显示中心频率	LCD数字显示中心频率	
积分平均功能	可加入积分和统计分析模块	可测量 L_{eq} 、 L_N 、 L_{AE} 等	——	——	——
滤波器选择	手动或自动				
储存	1000组数据	120组数据			
输出接口	RS-232C可连至UP40S打印机或PC机		——	——	——
电源	6x LR6	4 x LR6	由声级计提供	由声级计提供	220V，50Hz
外形尺寸/mm	300 x 90 x 36	220 x 72 x 32	100 x 72 x 32	100 x 72 x 32	240x100x200
重量/kg	0.6	0.4	0.2	0.2	1

注：6270B型不含噪声统计分析和储存功能，6270C型不含积分、储存和打印功能。

五、实时分析和数字信号处理

在信号频谱分析中，前面介绍的不连续档级滤波器分析方法对稳态信号是完全适用的。但对于瞬态信号的分析，则只能借助于磁带记录器把瞬态信号记录下来，做成磁带环进行反复重放，使瞬态信号变成“稳态信号”，然后再进行分析。如果用实时分析仪，则只要将信号直接输入分析仪，立刻就可以在荧光屏上显示出频谱变化，并可将分析得到的数据输出并记录下来。有些实时分析仪还能作相关函数、相干函数、传递函数等分析，其功能也就更多。

实时分析仪有模拟的、模拟数字混合的以及采用数字技术的。而现在普遍采用数字技术来进行实时分析。

数字频率分析仪是一种采用数字滤波、检波和平均技术代替模拟滤波器来进行频谱分析的分析仪。数字滤波器是一种数字运算规则，当模拟信号通过采样及A/D转换成数字信号后，进入数字计算机进行运算，使输出信号变成经过滤波了的信号，也就是说，这种运算起了滤波器的作用。我们称这种起滤波器作用的数字处理机为数字滤波器。

快速傅里叶变换（FFT）是一种用以获得离散傅里叶变换（DFT）的快速算法或运算程序。与直接计算方法相比，它大大减少了运算次数。最初，FFT算法是在大型计算机上用高级语言（如FORTRAN）实现的。随后，以汇编语言在小型计算机上实现。自从微处理器出现以后，计算机和仪器成为一个整体的小型FFT分析仪。

FFT分析仪现在已有许多种，不仅有单信道的，而且有双信道，甚至多信道的。单信道FFT分析仪可用于正反FFT变换、功率谱密度、自相关、传递函数等分析。双信道FFT分析仪则还可以进行函数、相干函数、互相关功率谱、倒功率谱分析和声强测量。有关FFT分析仪的指针参数是：

1) 频率范围：FFT分析仪的频率范围上限频率 f_n 是采样频率 f_s 的一半， $f_n=f_s/2$ ， f_n 称为奈奎斯特频率。也就是说FFT分析仪的频率范围是 $0\sim f_n$ 。

2) 分辨率 β ： β 为频谱中谱线间的频率增量，它与原始时间序列的采样数 N 的关系为：

$$\beta = \frac{f_s}{N} = \frac{2f_n}{N} \quad (4.2)$$

3) 带宽 B ：由分辨率和加于数据上的任一时间计权函数（时间窗）所确定，对于线性计权数据，有效噪声带宽等于分辨率，

$$B_{\text{有效}} = \beta$$

对于其它计权，其带宽等于计权函数的带宽。

4) 动态范围：它由表示输入数据的有效位数及用于计算的比特数来确定。作为一个粗略估计，每位输入数据得到6dB的动态范围，12位的A/D转换器给出72dB的动态范围。

但是，FFT算法如果用微型计算机来承担运算，其运算速度相对来讲还不够快，无法达到实时分析处理。由此，专门设计了一种用于数字信号处理的超大规模集成电路芯片，叫做数字信号处理器（DSP），它的处理速度比微机有很大提高，如TI公司的TMS320C30处理器每秒可进行3300万次浮点运算，从而在声频范围以至更高的频率范围均可达到实时分析处理。

杭州爱华仪器有限公司研制的AWA6290A型多信道噪声振动分析仪是一种基于笔记本计算机或微机进行数字信号处理的实时频谱分析仪，主机作为16位信号采集，计算机进行数字信号处理，它是一种任意信道组合的信号测量与分析仪器，它的噪声测量信道用来测量机器的噪声，振动测量信道用来测量机器振动，还可以加入转速信道。该仪器可以进行FFT分析，也可以进行1/3倍频程谱分析。计算机显示器可同时显示噪声、振动信道的总声级和振动值，以及它们的频谱图或表，也可以显示声级或振动随转速的变化，它还可以根据用户的需要提供不同软件和功能，是一种经济又实用的实时信号分析仪。根据用途不同，可以配置频谱分析软件包，用以进行FFT分析和1/3倍频程谱分析；建筑声学测量软件包，用于隔声测量和厅堂混响时间测量，混响室法吸声系数测量；数据采集软件包，以及环境噪声测量软件包、振动测量软件包。

六、声强测量和测量仪器

在声学测量中，一般是测量声压（或声压级），声压测量的原理简单，方法简便，测量仪器也比较成熟。测量得声压或声压级后，可以计算得到声强、声强级和声功率、声功率级。但是，声压测量受环境的影响（背景噪声、反射等）较大，往往需要进行修正，有时还需要在特定的声学环境（如消声室、混响室）中进行测量。

随着近代电子技术的发展，各种直接测量声强的仪器相继问世。由于声强测量及其频谱分析对噪声源的研究有着独特的优越性，能够有效地解决许多现场声学测量问题，因此成为噪声研究的一种有力工具。国际标准化委员会已公布了利用声强测量噪声源声功率级的国际标准，即ISO9614-1和ISO9614-2，前者规定了离散点测量方法，后者规定了扫描法。国际电工委员会则公布了IEC1043：1993《电声—声强测量仪器——利用声压响应传声器对进行测量》。

1、声强测量原理

声场中某一点上，在单位时间内，在与指定方向（或声波传播方向）垂直的单位面积上通过的平均声能量，称为声强。在没有流动的介质中，声强向量 \vec{I} 等于瞬时声压 $p(t)$ 和同一点上相应的质点速度 $u(t)$ 的时间平均乘积：

$$\bar{I} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) \bar{u}(t) dt \quad (4.3)$$

在给定方向声强向量的分量是：

$$I_0 = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) u_0(t) dt \quad (4.4)$$

式中 $p(t)$ 、 $u_0(t)$ ——表示传播方向 r 上某一点的瞬时声压和瞬时空气质点速度。

声场中某点的质点速度的测量可以通过两只适当安放的传声器组成的探头来进行（图4.4）。两只传声器测出的声压分别为 $p_1(t)$ 和 $p_2(t)$ 。当两传声器距离 r 远小于声波波长时，

$$p(t) = \frac{p_1(t) + p_2(t)}{2} \quad (4.5)$$

声波传播方向上，质点速度与声压梯度的积分成正比，即

$$u_r(t) = -\frac{1}{\rho_0} \int \frac{\partial p}{\partial r} dt \quad (4.6)$$

式中 ρ_0 ——空气密度。

因为 r 很小，所以可以用有限差值 $\frac{p_2 - p_1}{\Delta r}$ 来近似声压梯度，于是质点速度为：

$$u_r(t) = -\frac{1}{\rho_0} \int \frac{p_2(t) - p_1(t)}{\Delta r} dt \quad (4.7)$$

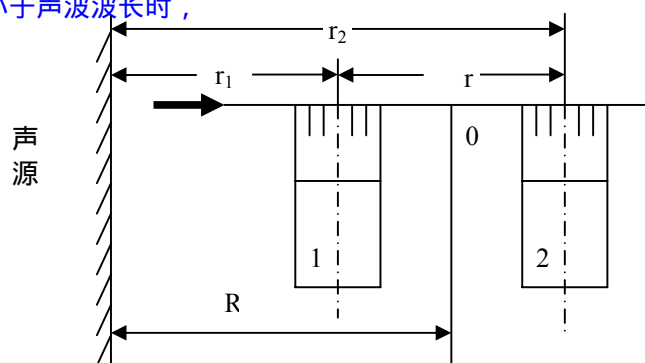


图 4.4 双传声器声强探头示意图

测量点的声强可表示为：

$$I_r = -\frac{p_1(t) + p_2(t)}{2p_0} \int \frac{p_2(t) - p_1(t)}{\Delta r} dt \quad (4.8)$$

利用电子线路完成上述运算，就可以测量出声强的平均值。

2、声强测量仪器

声强测量仪器大致有三种：一种是模拟式声强计，它能给出线性或A计权声强或声强级，也能进行倍频程或1/3倍频程声强分析，适用于现场声强测量；另一种是利用数字滤波技术的声强计，由两个相同的1/3倍频程数字滤波器获得实时声强分析；第三种是利用双信道FFT分析仪，由互功率谱计算声强，并能进行窄带频率分析。

图4.5所示为小型模拟式声强计方框图。这种仪器应用模拟倍乘方法，能实时测量声压级、质点速度和声强级，测量结果都用dB表示。声强测量探头的两只传声器测得的声压 $p_1(t)$ 和 $p_2(t)$ ，经放大器放大，通过 $f_c=100\text{Hz}$ 的高通滤波器滤去寄生的低频信号，以避免电路过载。两信号在信道1中相减，在信道2中相加，分别得到 (p_2-p_1) 和 (p_1+p_2) ，再各自通过A计权滤波器（或外接带通滤波器作特殊分析），其中信道1的 (p_2-p_1) 再进入积分电路，输出信号便是 u ，它用 $(p_1+p_2)/2=p$ 的信号相乘，就得到声强 I 。经过线性/对数转换器，在电表上得到以dB指示的声强级。

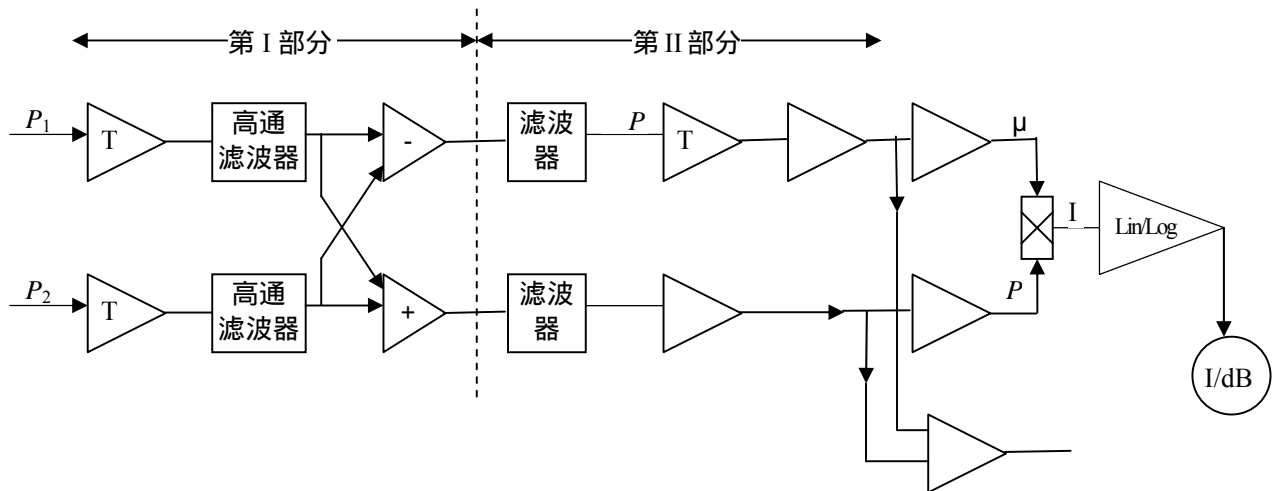


图4.5 小型模拟声强计方框图

为了减小实际测量中由于相位失配引起的误差，声强测量探头的两只传声器的相位失配要小（ $100\sim 10000\text{Hz}$ 小于 0.5° ），同时使 p 和 u 信道在相位上精确地匹配，再根据所研究的频率范围调节距离 r ，使两个信道之间的相位失配在 $100\sim 10000\text{Hz}$ 频率范围低于 1° 。

声强测量设备中对两个测量信道的幅度和相位匹配要求甚严，如采用模拟滤波器进行声强分析，将会由于相位失配使测量误差大大增加，而使用数字滤波器，则可能完全避免相位失配。虽然数字滤波器具有与一般滤波器相类似的相位响应曲线，但通过将同一滤波器单元在时间上在两测量信道之间平分，使两个滤波器信道的相位函数完全相同，就可避免两信道之间的相位失配。

根据随机信号分析理论，两个平稳随机信号 $p(t)$ 和 $u(f)$ 的互相关函数 $R_{pur}(0)$ 与互功率谱密度函数 G_{pur}

(t) (单边谱) 之间存在如下关系：

$$R_{\text{pur}}(0) = \int_0^{\infty} G_{\text{pur}}(f) df \quad (4.9)$$

对于单一频率

$$R_{\text{pur}}(0) = G_{\text{pur}}(f) \quad f \quad (4.10)$$

式中 f —有限傅里叶变换相关频率分辨率。

对于非单一频率

$$R_{\text{pur}} = \sum_{i=1}^n G_{\text{pur}}(f_i) \Delta f \quad (4.11)$$

由于互相关函数即为两信号乘积的数学期望，因此可得声强在频域中的表达式为

$$I_r(f) = G_{\text{pur}}(f) \quad f \quad (4.12)$$

将互功率谱密度函数的估计值

$$G_{\text{pur}}(f) = I \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum [F_p^* \cdot F_{ur}] \quad (4.13)$$

代入式 (4.12) 后可得声强为：

$$I_r(f) = I \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum [F_p^* \cdot F_{ur}] \Delta f \quad (4.14)$$

将式 (4.5) 与式 (4.6) 进行傅里叶变换后代入式 (4.14)，经整理可以得到声强的互谱表达式；

$$\begin{aligned} I_r(f) &= \frac{1}{2\pi p \Delta r f} \text{Im}[G_{21}(f) \cdot \Delta f] \\ &= \frac{1}{2\pi p \Delta r f} \text{Im}[G(f)] \end{aligned} \quad (4.15)$$

式中 $G_{21}(f)$ ——传声器1与2测出的声压 $p_1(t)$ 和 $p_2(t)$ 的互功率谱密度函数；

$G(f)$ ——此两声压的互功率谱；

Im ——表示取虚部。

从声强表达式中可以清楚地看到，只要获得了两个声压信号的互功率谱，就可以测出声强及其频谱。

而通过双通道FFT分析仪，不难进行互功率谱的测量与计算。

IEC1043标准对声强测量仪器及组成该仪器的处理器和声强探头，按能达到的测量准确度分为1级和2级，而且2级允许误差比1级大。另外还规定了2x级，该级的处理器和仪器不能实时测量。当处理器和探头同时提供成为规定等级仪器时，探头和处理器至少都要满足该等级的要求。当处理器和探头分别提供时，1级仪器应配置1级处理器和1级探头，2级仪器配置1级处理器和2级探头，或2级处理器和1级探头，或2级处理器和2级探头。2x级仪器应配置2x级处理器和1级或2级探头。该标准还规定了声强处理器的指标及性能要求（表4.5）。1级声强计用于ISO9614标准规定的精密级和工程级声功率测量，2级则用于调查级测量。

由合肥工业大学研制的便携式互谱声强测量分析系统由笔记本计算机 + 精密测量系统 + 声强探头 + Windows平台的声强测量分析软件组成，总重量不到5kg。可以依据ISO9614-1和ISO9614-2在普通声学环境中准确测定声源和各种设备的声功率，从而可节约一大笔建造消声室的费用，并且可以完成诸多在消

声室内使用声压法无法完成的测量工作。

主要测量功能：声强测量、声压测量、声功率测量、时域示波、短/瞬时声功率测量和声场指示值测量。实时数据采集功能确保对瞬态信号的实时捕捉，以便用于声学研究领域。系统使用基于FFT的互谱声强测量分析技术，提供准确的窄带谱分析功能，还有A/B/C/D任意计权分析，1/1、1/2、1/3…任意倍频程合成以及等声强线和三维声强谱拟合等。

主要技术参数：

- 1、测量声级范围：30 ~ 120dB；
- 2、最高有效频率：10kHz；示波频率范围：0 ~ 25kHz；
- 3、程控放大倍数：1 ~ 1.7E4；增益误差：小于0.01dB；
- 4、系统相位误差：1kHz内小于0.1度；全频带小于0.3度（不包括传声器），校正后小于0.1度。

表4.5 声强处理器指标及性能要求

	1级	2级	2x级
滤波器类型	1级1/3倍频程（模拟或数字）	2级倍频程或1/3倍频程（模拟或数字）	2级倍频程或1/3倍频程（模拟或数字）
实时信号处理	必须具备。如果频带由FFT分析合成，则要求重叠处理		时间窗、数据采集和处理时间要求的全部信息
指示器准确度/dB	±0.2	±0.3	±0.3
各个传声器准确度/dB	±0.1	±0.2	±0.2
时间平均	10~180s连续或以1s或更小分档	10~180s连续或分档	30~600s
在环境条件下提供声强校准	必须具备	任选	任选
频率范围	45Hz~7.1kHz（对1/3倍频程），45Hz~5.6kHz（对倍频程）		
计权特性	A计权，符合IEC651标准，计权误差为1型声级计误差的一半		
分辨率/dB	0.1		
峰值因子容量	> 5（14dB）		
量程选择	自动或手动		
过载指示	应提供		
工作环境/	5~40		

七、环境噪声自动监测系统和噪声显示屏

目前在用的以噪声统计分析仪或多功能声级计为代表的环境噪声监测仪器，虽然它能自动采集数据、储存数据、计算和分析测量结果，但它并不是一个环境噪声自动监测系统。一个环境噪声自动监测系统至少应具有以下几方面的功能：（一）它是全天候工作的，不管刮风下雨、天冷天热，它都能适应。（二）它应是无人值守的，也就是不需要有人值班看护它。（三）它应能自动将数据传输到中心站，而不需通过人工采集或将仪器带回中心站再将数据送入计算机。（四）它应能多点联网工作，因为噪声测量往往是许多测点同时进行，它们的数据都要传送到中心站，并自动生成各种形式的报告。

一套环境噪声自动监测系统通常由全天候噪声监测终端、传输线路（有线或无线）、中心站主控计算机等几个部分组成。

全天候噪声监测终端由全天候传声器测试单元、信号计权放大、信号处理和控制单元、内存、接口及电源等部分组成完整终端。该单元要符合国家标准GB/T3785和GB/T17181对1型（或2型）声级计和积分声级计的要求，具有一定的测量范围（例如35 ~ 130dB）和频率范围（例如20Hz ~ 16kHz或31.5Hz ~ 8kHz），具有A频率计权，也可具有C计权及不计权，时间计权可以是快（F）、慢（S）和脉冲（I）。比较高档的终端还具有实时倍频程或1/3倍频程谱分析功能，与一般的噪声测量仪器不同，这些功能都是由数字信号处理来实现的。通常情况下由220V交流电供电，停电时由备用蓄电池供电，连续使用时间不少于12小时。它应能在温度为-20 ~ +50℃，相对湿度<90%（+40℃时）的环境条件下正常工作，并且具有防雨、防风、防鸟停等功能。终端应能自动校准，校准次数可设定或遥控。全天候噪声监测终端的数量根据用户要求确定。

全天候环境噪声监测终端内置有调制解调器，调制解调器用来将噪声测量数据经处理后的数字信号调制在音频或射频信号上，以便通过电话线路或无线电波传输到中心站计算机。反过来，由中心站计算机通过电话线路或无线电波传输过来的控制信号，也由它解调成单片计算机能识别的数字信号，对终端进行控制。

传输线路可以选用电话线路，其优点是稳定、可靠，不易受干扰，维护费用也省，但安装线路要通过电信局申请。也可以选用无线传输系统，并根据不同距离选用，它的优缺点与电话线路正好相反，安装非常方便，但容易受附近建筑物及其它因素干扰，维护费用较高，占用频率还需专门申请备案。目前更加先进的是采用无线手机模块CDMA或GPRS，通过互联网传输到中心站的主控计算机，兼有前述两种方式的优点。

中心站的主控计算机没有特别的要求，一般的PII微型计算机，具有Windows95/98系统软件，内置调制解调器即可。这样的计算机一般环境监测站都已有，不需另外购置。主控计算机通过专门的噪声监测软件对全天候噪声监测终端进行遥控与遥测，将测试数据传输到主控计算机，再经数据处理后自动生成各种报表文件。一台主控计算机可以同时监控多点测量，使噪声监测工作完全进入自动化、智能化。由于监测终端本身具有数据处理和存储功能，因此主控计算机对它不需要连续不间断地进行监控，只需相隔一定时间（例如1天）监控一次，每次时间也仅仅几分钟而已。

环境噪声自动监测系统可以按照国标GB/T14623-93《城市区域环境噪声测量方法》中定点测量方法，应用于1个或多个测点，进行长期噪声定点监测，以获得某一区域或整个城市的环境噪声的平均水平和噪声污染的时间分布。这时只需将全天候噪声监测终端安装在规定的测点上，通过电话线或无线电波，由中心站主控计算机对它进行遥控遥测，监测点现场不需要任何人值守。同样该系统可用于按GB/T3222-94测量道路交通噪声。

近年来机场周围飞机噪声问题越来越受到人们关注，该系统可以用于测量机场周围由于飞机起飞、降落或低空飞越时所产生的噪声（GB/T9661-88）。一般情况下，使用简易法，即只需经频率计权测量即已足够。要求高时亦可以配置高文件终端进行精密测量，即进行实时1/3倍频程谱分析的测量，由这些测量结果计算每次飞行事件的感觉噪声级 L_{PN} 和有效感觉噪声级 L_{EPN} 。再计算一系列相继飞行事件的噪声级和一段监测时间内的连续噪声级 L_{WECPN} 。

环境噪声自动监测系统的另一个应用是用来监测噪声污染源的噪声排放，这类污染源如施工噪声、工业企业厂界噪声等。只要将全天候噪声监测终端安装在监测点，它会自动记录下每时每刻的噪声级变化情况，从而有效地监察有无违规施工，偷偷排放噪声，依此作出恰当的处罚。这种监测甚至可以不需要利用电话线或无线传输与控制，只要隔一定时间（例如几天）去采集一次数据或者将监测终端送回中心站将数据打印出来或送到计算机就可以了。

环境噪声自动监测系统也可以与大屏幕噪声显示屏做成一体，一方面自动监测环境噪声，另一方面又把噪声监测值立即用大屏幕显示出来，起到普及和宣传噪声污染防治知识，提高人们的环境保护意识的作用。在显示屏上还可以增加大气污染指数，气温、风力、风向等气象资料。

噪声显示屏可以只显示瞬时声级，也可同时显示等效连续声级；可以做成单面，也可做成双面，三面或四面。显示器件一般采用发光二极管，而采用像素管的则在室外显示更加明亮清晰。

噪声显示屏采用像素管作为显示器件，同时显示 L_p 和10分钟 L_{eq} 。它还可以储存15天数据，储存数据可通过人工采集送到计算机，也可通过电话线路或无线传输到计算机。显示屏还可以增加广告内容，通过滚动显示不断更新广告内容。

显示屏的进一步发展是环境质量公告牌，它不仅显示环境噪声的测试值，而且显示大气中二氧化硫、氮氧化物、可吸入颗粒物等污染指数，这些污染指数由计算机通过电话线或无线传输到显示屏进行显示，并按要求予以更新。

八、声校准器

声校准器是一种能在一个或几个频率点上产生一个或几个恒定声压的声源。它用来校准测试传声器、声级计及其它声学测量仪器的绝对声压灵敏度，有时候还将它作为声测量装置的一部分，来保证声测量的精度。作为一种校准器，对声校准器的准确度和稳定度都比一般仪器有更高的要求。为了满足声学测量的校准要求，GB/T15173和IEC942-1988《声校准器》标准，将声校准器的准确度等级由原来的1级、2级、3级提高到0级、1级、2级，并提出了相应的稳定度指标。要求声校准器至少产生一个不低于90dB的声压标称值，其允差及稳定度极限见表4.5。

表4.5 使用规定形式传声器或声级计时，声压级的允差及稳定极限

声级校准器级别	0	1	2
允差/dB	± 0.15	± 0.3	± 0.5
稳定度/dB	± 0.05	± 0.1	± 0.2

表中的允差是指大气压力为101.3kPa，温度为20℃，相对湿度为65%的标准环境条件下，经过生产厂规定的稳定时间后，声校准器在20s内的平均声压级偏离标称值的允许误差。稳定度是指声校准器在生产厂规定的稳定时间后，在与上述相同环境条件下，用F时间计权测定其输出声压级，在工作20s内相对平均值的起伏变化极限。

按照工作原理，声校准器主要有以下几种类型：

（1）活塞发声器：它是一种由电动机转动带动活塞在空腔内往复移动，从而改变空腔的压力，产生了声音。由于活塞的表面积、活塞行程和空腔容积（活塞在中间位置时）都保持不变，因此它产生的声

压也非常稳定，通常能满足1级声校准器的要求，而丹麦B/K公司的4228型活塞发声器，其声压准确度达到 $\pm 0.15\text{dB}$ ，可作为0级声校准器。

(2)带声负反馈的声级校准器：这种声校准器如AWA6221型声级校准器，由电路产生频率为1000Hz的电信号，经可控增益放大器放大后驱动一只小型扬声器发声，该声压被参考传声器接收，并反馈到放大器，控制加到扬声器上的电压，使其产生的声压恒定。由于参考传声器具有较高的稳定性，因此这类声校准器具有较好稳定性，可以达到1级声校准器的要求。该类校准器除产生94dB声压外，还可以产生114dB（或104dB）几种声压级，有的还可以做成多个频率（如B/K公司4226型多用途声校准器。）

(3)带温度补偿的声级校准器：这种声校准器如AWA6221B型声级校准器，由电路产生频率为1000Hz的电信号，经放大后驱动一只小型扬声器（压电陶瓷型或动圈型）发声。考虑到扬声器声压会随温度而变化，因此加入温度补偿，使声压保持不变。这种声校准器一般只能达到2级声校准器的要求。

按照新的声级计国际标准IEC61672的规定，1级声级计要用1级或0级声校准器进行校准，2级声级计要用2级及以上声校准器进行校准。几种声校准器的主要性能见表4.7。

表4.7 声校准器的主要性能

型 号	B&K4228型 活塞发声器	B&K4231型 声校准器	AWA6221型 声校准器	AWA6221B型 声校准器
按IEC60942等级	0级	1级	1级	2级
标称声压级/dB	124	94和114	94和114	94
声压级准确度	± 0.09 (参考条件下) ± 0.15 (附气压表)	± 0.2 (参考条件下) ± 0.3 (-10 ~ +50)	± 0.2 (参考条件下) ± 0.3 (0 ~ +40)	± 0.3 (参考条件下) ± 0.5 (0 ~ +40)
频率 (Hz)	251.2	1000	1000	1000
频率准确度 (%)	0.1	0.1	0.5	2
谐波失真 (%)	3	1	1	1
使用温度范围/	-10 ~ +55	-10 ~ +50	-10 ~ +50	-10 ~ +50

第五章 噪声测量方法

关于噪声测量方法，国家已经针对不同对象制订了几十个国家标准和部颁标准，通常，应按这些标准进行噪声测量，这样也有利于测量结果可以相互比较。

一、作业场所噪声测量（WS/T69-1996和卫法监发[1999]第620号）

测量的参数：A计权声级，等效声级，倍频带频谱。

测量仪器：1) 1型或2型声级计或积分声级计、噪声统计分析仪、噪声剂量计；

2) 倍频程滤波器：含有中心频率为31.5 ~ 8000Hz九个倍频程；

测点选择：测点应当选在职工作业点的人头位置，职工无需在场，如职工需在场或在周围走动，测点高度应参照人耳高度，距外耳道水平距离约0.1m。

测量方法：1)对稳态噪声，使用声级计A网络及“慢文件”时间特性，并取5s内的平均读数为等效连续声级。

- 2)对非稳态噪声,用2型以上的积分声级计或个人声暴露计(剂量计)直接测量等效连续声级。
3)对噪声强度超标时,应测量中心频率31.5~8000Hz的九个倍频带的声压级。

二、城市区域环境噪声测量方法:(GB/T14623-93)

1、概述

测量仪器:精度为2型以上的积分声级计及环境噪声自动监测仪器。

气象条件:无雨、无雪的天气条件下进行,风速不大于5.5m/s。传声器应加风罩。

测点选择:选在居住或工作建筑物外,离任一建筑物距离不小于1m。传声器距地面垂直距离不小于1.2m。传声器指向主要声源(道路交通噪声指向道路)。

测量时间:分昼间和夜间两部分进行。

采样方式:用“快”响应,采样时间间隔不大于1s,资料连续采集。

不得不在室内测量时,室内噪声限值低于所在区域标准10dB。测点距墙面和其它主要反射面不小于1m,距地板1.2-1.5m,离窗户处1.5m,开窗状态下测量。

铁路两侧区域环境噪声测量,应避开列车通过的时段。

测量中应尽可能减少对声场的干扰。应防止人群围观。应尽可能使用三角架支撑仪器,测量者尽可能远离(1米以外)测点。

国家环保局环控声[1996]091号文明确指出:人工读数的声级计不得再使用,从1996年开始,要求各级环境监测站的有关环境噪声监测报表和数据传输软件中不再报送累计百分声级结果。

2、城市区域环境噪声普查方法

目的是为了了解某一类区域或整个城市的总体环境噪声水平,环境噪声污染的时间与空间分布规律。

网格测量法--噪声污染空间分布

将要普查的城市某一区域或整个城市划分成多个等大的正方格,总数应多于100个,测点布在每个网格的中心,分别在昼间和夜间测量。在规定的测量时间内,每次每个测点测量10min的 L_{eq} 。

将全部网格中心测得的10min L_{eq} 进行算术平均,此平均值代表某一区域或全市的噪声水平。如所测量的区域仅执行某一类区域环境噪声标准,那么该平均值可按该区域的适用标准进行评价。

将测量得到的 L_{eq} 按5dB一档分级(60-65、65-70、70-75),用不同颜色或阴影线表示每一文件 L_{eq} ,绘制在复盖某一区域或城市的网格上,表示区域或全市的噪声污染分布情况。

定点测量方法--噪声污染时间分布

在标准规定的城市建成区中,优化选取一个或多个有代表性的测点,进行长期定点噪声监测,进行24h测量,测量每小时的 L_{eq} 及 L_d 和 L_{no} 。

某一区域或城市昼间(或夜间)的环境噪声平均水平由下式计算:

$$L = \sum_{i=1}^n L_i \frac{S_i}{S} \quad (5-1)$$

式中 L_i 为第i个测点测得的昼间(或夜间)的 L_{eq} , S_i 为第i个测点所代表的区域面积, S 为整个区域或城市的总面积。

按各类区域对应标准，评估测量区域的噪声水平。

将每小时测得的 L_{eq} 按时间排列，得到24h声级变化图形，表示某一区域或城市环境噪声的时间分布规律。

3、城市交通干线噪声平均值的测量方法（GB/T3222-94）

在城市规划部门划定的城市主、次交通干线，每个自然路段布一个测点，测点距任一路口的距离应大于50m，长度不足100m的路段，测点设于路段中间。测点位于人行道上距路面（含慢车道）20cm处。每个测点（路段）测量20分钟的等效声级，以及累积百分声级 L_5 、 L_{50} 、 L_{95} ，同时记录车流量（辆/小时）。测得的 L_{eq} 及 L_5 表示该路段道路交通噪声评价价值。

由各路段测得的交通噪声级 L_{eq} 、 L_5 ，按路段长度加权算术平均方法，计算全市的道路交通干线噪声平均值，计算公式如下：

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (5-2)$$

式中：L为全市交通干线噪声平均值；

L_i 为第i条路段测得的等效声级； L_{eq} 或累积百分声级 L_5 ，dB。

l_i 为第i条路段的长度；

n为干线路段总数。

由中科院声学所负责起草的GB/T3222-94《声学 环境噪声测量方法》中提出加测累计百分声级 L_5 、 L_{95} ，并做为被测噪声声级分布特征分析。而 L_5 和 L_{eq} 一起作为交通噪声评价价值。

三、工业企业厂界噪声测量方法（GB/T12349-90）

测量仪器和测量气象条件同上。

测量时间应选在被测企事业单位正常工作时间内进行，分为昼间和夜间两部分。

用“快”响应，采样时间间隔不大于1s。

稳态噪声测量1min的 L_{eq} ，周期性噪声测量一个周期的 L_{eq} ，当声级分布明显分段时，

可按不同声级段简化测量，并按不同时段权重计算等效声级。非周期非稳态噪声测量整个工作时间的等效声级。

测点位置：选在法定厂界外1m、高1.2m以上噪声敏感处，如有围墙，测点应高于围墙。若厂界与居民住宅相连，测点应选在居室中央，室内限值比室外低10dB（A）。若要了解厂界噪声扰民情况，应在工厂周围有敏感建筑物的厂界布点。采用等间隔布点方法，每两点间的声级差不超过3dB，或采用等声级布点方法，声级间隔可选择3dB或5dB。若建立区域环境噪声源档案，可选择厂界噪声级最高处设一个测点。若要全面了解一个企业的厂界噪声分布，应采用等间隔或等声级方法在整个厂界布点。北京市环境监测中心站提出几个原则可供参考：距强噪声源最近原则，敏感点最近原则，等间隔布点原则，避开屏障声影区原则，适当移位原则，测量结果准确、方法简便易行原则，视情况与厂方协商原则。

四、铁路边界噪声测量方法（GB/T12525-90）

使用2型及以上积分声级计。

用“快”档，采样间隔不大于1s。

气象条件：无雨雪、加风罩、4级风以上停止测量。

测量时间：昼间、夜间各选在接近其机车车辆运行平均密度的某一个小时，用其分别代表昼间、夜间。必要时，昼间、夜间分别进行全段时间测量。

测点选在铁路边界（距铁路外侧轨道中心线30m处）高于地面1.2m，距反射物不小于1m处。

测量1h的 L_{eq} 值。

五、建筑施工场界噪声测量方法（GB12524-90）

使用仪器：2型及以上积分声级计或环境噪声自动监测仪。

测点：距地面1.2m的边界线敏感处，如有围墙，可高于1.2m。

气象条件：无雨雪、风速超过1m/s，加风罩，超过5m/s，停止测量。

测量时间：分昼间和夜间，昼间测20min的 L_{eq} 表征该点的昼间噪声值，夜间测8h的 L_{eq} 表征该点的夜间噪声值。

选用“快”特性，采样时间间隔不大于1s。

测量期间，各施工机械应处于正常运行状态，包括进出车辆。

六、机场周围飞机噪声测量方法（GB9661-88）

使用仪器：2型及以上声级计或机场噪声监测系统及其它适当仪器。

传声器位置：高于地面1.2m，离其它反射壁面1m以上的开阔平坦地方，注意避开高压电线和大型变压器，传声器膜片基本位于飞机标称飞行航线和测点所确定的平面内，即掠入射。

无雨、无雪，地面上10m高处风速不大于5m/s，相对湿度不应超过90%，不应小于30%。

测量方法：

1) 精密测量——需要作为时间函数的频谱分析的测量。

2) 简易测量——只需经频率计权的测量。

由一次飞行事件测得的频带声压级或最大声级和最大声级下10dB的持续时间计算一次飞行事件的有效感觉噪声级 L_{EPN} 。

以能量平均方法，计算相继N次事件的有效感觉噪声级的平均值 $\overline{L_{EPN}}$ 。

计算一昼夜24h的有效连续感觉噪声级 L_{WECPN} 。

七、公共场所噪声测量方法（GB/T18204.22—2000）

测量仪器：精密声级计或普通声级计

仪器设置：传声器离地面高1.2m，与操作者距离0.5m左右，距墙面和其它主要反射面不小于1m。

测量方法：

1) 布点要求：较大的公共场所（大于100m²）距声源（或一侧墙壁）中心划一直线至对侧墙壁中心，在此直线上取均匀分布的三点为监测点；较小的公共场所（小于100 m²）在室中央取一点为监测点。

2) 读数方法：稳态与近似稳态噪声用快档读取指示值或平均值；周期性变化噪声用慢档读取最大值并同时记录时间变化特性；脉冲噪声读取峰值和脉冲保持值；无规则变化噪声用慢档，每隔5s读一个瞬时A声级；每个测点连续读取100个数据代表该测点的噪声分布。

3) 测量时间：文化娱乐场所、商场（店），测量营业前30min，营业后30min，营业结束前30min的A声级。旅店业、图书馆、博物馆、美术馆、展览馆、医院候诊室、公共交通等候室、公共交通工具均在营业后60min测量。

评价值：用 L_{Aeq} 作为评价值，用 L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} 作为分析依据。对于公共场所的一般性卫生监测，可分别求出各点的 L_{50} ，然后进行合成或平均计算做为公共场所噪声的判定依据。

八、噪声的频谱分析：

使用仪器：2型以上声级计及倍频程或1/3倍频程滤波器，或噪声频谱分析仪。

测量每个频段的噪声级。

将所得数据依次列表或画出曲线（如图1.2和1.3），即得到噪声的频谱，可作为噪声治理的参考依据。

使用自动噪声频谱分析仪，可由打印机直接打印出频谱图或列表。

使用实时分析仪可在很短时间内同时得到1/1或1/3倍频程频谱图，或FFT分析。

九、机器噪声源声功率的测量

表征机器噪声值通常有两种方式：一个是声功率级，另一个是声压级。声功率级是一个反映机器辐射噪声能量大小的客观量，从理论上讲，它的值与测量距离无关，也与测试环境无关（因已扣除了环境的影响）。它表示了机械特性的不变量，便于同类产品和不同类产品噪声水平的比较。而声压级则与测量距离有关，测点离开声源越远，声压级就越低，声音越弱；反之，声压级越高，声音越响。人们能直观感受到的是声压级，因此，声压级测定常参考人耳位置作为布置测点的依据。通常规定机器噪声发射值标准包括工作位置和指定位置的发射声压级和机器的声功率级，用声功率级值反映机器的噪声水平，用发射声压级反映劳动保护的水平。对于大型机器，则仅仅测量发射声压级。

机器噪声测量的目的主要有两个：一是表述机器噪声值的大小或验证机器的噪声是否符合规定要求，这时通常只需测定A计权声功率级和发射声压级；二是对机器噪声进行比较、分析、鉴别优劣，查明噪声产生的根源，以便采取措施降低噪声，再通过验证，评价减噪措施的实际效果，这时不仅要测定噪声的强度，还需要进行频谱分析。

国际上将机器噪声测量标准分为B类标准和C类标准。B类为噪声发射基础标准，规定机械设备发射噪声的测定程序，以获得可靠和具有规定精度等级的再现性结果。C类标准为噪声测试规范，它是在B类标准的基础上，给出被测特定系列设备的安装、负荷和运行条件、工作位置以及其它位置等，在规定的标准条件下进行噪声发射值的测定、标示和验证，同一系列机器的测量值具有可比性。

有关噪声源声功率级测定的B类国际标准和国家标准有：

GB/T14367-1993 声学 噪声源声功率级的测定 使用基础标准与制订噪声测试规范的准则 (ISO3740:2000)

GB/T6881.1-2002 声学 声压法测定噪声源的声功率级 混响室精密法(eqvISO3741;1999)

GB/T6881.2-2002 声学 声压法测定噪声源的声功率级 混响场中小型可移动声源工程方法 第1部分：硬壁测试室比较方法 (eqvISO3743-1：1994)

GB/T6881.3-2002 声学 声压法测定噪声源的声功率级 混响场中小型可移动声源工程方法 第2部分：专用混响测试室法 (eqvISO3743-2：1994)

GB/T3767-1996 声学 声压法测定噪声源的声功率级 反射面上方近似自由场的工程法(eqvISO3744：1994)

GB/T6882-1986 声学 声压法测定噪声源的声功率级 消声室和半消声室精密法 (ISO3745：2003)

GB/T768-1996 声学 声压法测定噪声源的声功率级 反射面上方采用包络测量表面的简易法 (eqvISO3746：1995)

GB/T6538-1996 声学 声压法测定噪声源的声功率级 使用标准声源简易法 (ISO3747：2000)

GB/T6404-1996 声学 声强法测定噪声源的声功率级 第1部分：离散点上的测量 (eqvISO9614-1：1993)

GB/T16404.2-1999 声学 声强压法测定噪声源的声功率级 第2部分：扫描测量(eqvISO9614-2：1996)

不同方法的测量准确度是不同的，表5-2列出了“声功率级测量的不确定度表示为再现性标准偏差的最大值”。各种方法的选择主要取决于测试环境、测量仪器、测量目的。前面表5-1列出了7种测量方法，其中GB/T16538-1996“标准声源简易法”是参照采用1987年版的ISO3747，国际上已将ISO3747：1987修订为ISO3747：2000，而我国尚未对国家标准进行修订，考虑到GB/T16538-1996仍为现行国家标准，故也列入表中进行比较。

以上方法中，声强法适用于稳态声源。绝对稳定的噪声是很难找到的，只要在每个测点的积分平均时间至少持续10个周期以上，则周期信号可以视为平稳信号，所以，大多数机械设备都可以用声强法测量。声强法受环境和背景噪声影响的程度相对其他方法要小得多，特别适宜于生产车间和机械设备厂的现场测量，测量的准确度较高，是值得推崇的一种方法。声强法分离散点测量法和扫描法，扫描法的精度高于离散点的精度，但扫描法对操作人员有一定要求，要求移动速度均匀，要避免操作人员的身体妨碍声源的自由辐射。离散点法可以用三角架固定探头进行测量，当测点适当多时精度也比较高。

标准声源的现场比较法适用于宽敞、混响效果好的大厂房。对于制造厂来说，装配车间一般能满足这一要求。该方法测点少，一般3~4个测点，只要被测声源两面或三面的4~8m范围内没有阻挡物，则很容易找到满足工程法条件的测点位置，即 $L_t = L_{pr} - L_{wr} + 11 + 20 \lg r \geq 7 \text{ dB}$ ，测量的准确度较高，值得推广。

表5.1 机器设备声功率级测量方法标准的概要

参量	ISO3743-1:1994 GB/T6881.2 2级	ISO3744:1994 GB/T3767 2级	ISO3746:1995 GB/T3768 3级	ISO3747:1987 GB/T16538 3级	ISO3747:2000 2级或3级	ISO9614-1:1993 GB/T16404 1级、2级或3级	ISO9614-2:1996 GB/T16404.2 2级或3级
测试环境	硬壁测试室	反射面上方近似自由场	无专门测试环境	无专门测试环境,被测声源不可移动	现场的近似混响场,被测声源不可移动	任何环境	
测试环境适用准则	房间体积 $\geq 40\text{m}^3$ 吸声系数 ≤ 0.2	$K_2 \leq 2\text{dB}^{(1)}$	$K_2 \leq 7\text{dB}^{(1)}$		工程法: $L_f \geq 7\text{dB}^{(2)}$ 简易法或未测定: $L_f < 7\text{dB}^{(2)}$	根据外部声强、风、气流、振动、温度、周围结构判断	
声源体积	最好小于测试室容积的1%	无规定,仅受可利用的测试环境的限制	无规定,仅受可利用的测试环境的限制	无限制	无规定,仅受可利用的测试环境的限制	无限制	
噪声特性	任意,但非孤立猝发声	任意	任意	稳态、宽带、窄带或离散频率	宽带、窄带或离散频率,只要在测量时间内稳态		
对背景噪声的限定	$L \geq 6\text{dB}^{(3)}$ (尽可能 $> 15\text{dB}$) $K_1 \leq 1.3\text{dB}^{(1)}$	$L \geq 6\text{dB}^{(3)}$ (尽可能 $> 15\text{dB}$) $K_1 \leq 1.3\text{dB}^{(1)}$	$L \geq 3\text{dB}^{(3)}$ (尽可能 $> 10\text{dB}$) $K_1 \leq 3\text{dB}^{(1)}$	$L \geq 3\text{dB}^{(3)}$ (尽可能 $> 10\text{dB}$) $K_1 \leq 3\text{dB}^{(1)}$	$L \geq 6\text{dB}^{(3)}$ (尽可能 $> 15\text{dB}$) $K_1 \leq 1.3\text{dB}^{(1)}$	外部声强应尽可能小,若不可避免应为稳态	
仪器 ⁴⁾ : a)声级计至少满足 b)积分声级计至少满足 c)带通滤波器至少满足 d)校准器至少满足 e)声强仪至少满足	a) 1级 b) 1级 c) 1级 d) 1级	a) 1级 b) 1级 c) 1级 d) 1级	a) 1级 b) 1级 c) 1级 d) 1级	a) 2级 b) 2级 c) 1级 d) 1级	a) 2级 b) 2级 c) 1级 d) 1级	e) 1级或2级 ⁵⁾	e) 1级或2级 ⁵⁾
可得到的声功率级数据	A计权和倍频程	A计权和倍频程或1/3倍频程	A计权	A计权或由倍频程计算得到的A计权	由倍频程计算得到的A计权,倍频程	限制频段(1/3倍频程中心频率50~6300Hz)的A计权或倍频程或1/3倍频程	
可选择得到的资料	其它计权声功率	指向性信息和作为时间函数的声压级、单一事件声压级、其它计权声功率级	作为时间函数的声压级、其它计权声功率级	作为时间函数的声压级	作为时间函数的声压级	正局部和/或负局部声功率集中	

注:1) K_1 为背景噪声修正值, K_2 为环境修正值。在测定声功率谱时, K_1 和 K_2 在测试的频率范围内每个频带上均应满足,测定A计权声功率级时, K_{1A} 和 K_{2A} 也使用上述值。

2) L_f 是在一定距离的声压级过剩量,它表示房间的空间声分布曲线与自由场的空间声分布曲线之间的差异,其确定见ISO3747:2000的附录A。测定A计权声功率级时, L_{fA} 也使用上述值。

3) L 指被测声源工作期间测量表面平均声压级与该表面平均背景噪声声压级之差。

4) 1级用于精密法和工程法,2级用于简易法。

上述两种方法无需确定环境修正值 K_2 便可测得机器的声功率级,但需要配备声强仪或标准声源。反射面上方近似自由场的工程法或简易法只需用声级计便可测量,但前提是要满足一定的测试环境,因此需要预知环境修正值 K_2 。工程法要求 $K_2 \leq 2\text{dB}$,通常半消声室或室外开阔的场地才能满足这个要求。简易法要求 $K_2 \leq 7\text{dB}$ 。这两种方法的测量方法和要求相似,在测点布置方面也基本相同,所不同的只是工程法比简易法严格,简易法在工程法的基础上取消了一部分测点。

表5-2声功率级测量的不确定度表示为再现性标准偏差的最大值

单位: dB

频率(Hz)	ISO3743-1:1994 4 GB/T6881.2 2级	ISO3744:1994 GB/T3767 2级	ISO3746:1995 GB/T3768 3级	ISO3747:1987 GB/T16538 3级	ISO3747:2000		ISO9614-1:1993 GB/T16404			ISO9614-2:1996 GB/T16404.2	
					2级	3级	1级	2级	3级	2级	3级
A计权	1.5	1.5 ¹⁾	3 ¹⁾ (若 $K_2 \leq 5$) 4 ¹⁾ (若 $5 < K_2 \leq 7$) 4 ²⁾ (若 $K_2 \leq 5$) 5 ²⁾ (若 $5 < K_2 \leq 7$)	3 ³⁾ 4 ¹⁾ 5 ²⁾	1.5	4	-	-	4 ⁴⁾	1.5 ⁴⁾	4 ⁴⁾
倍频程											
63	-	5 ⁵⁾	-	-	-	-	2	3	-	3	-
125	3	3	-	-	-	-	2	3	-	3	-
250	2	2	-	-	-	-	1.5	2	-	2	-
500	1.5	1.5	-	-	-	-	1.5	2	-	1.5	-
1000~4000	1.5	1.5	-	-	-	-	1	1.5	-	1.5	-
8000	2.5	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/3倍频程											
50~80	-	5 ⁵⁾	-	-	-	-	2	3	-	3	-
100~160	-	3	-	-	-	-	2	3	-	3	-
200~315	-	2	-	-	-	-	1.5	2	-	2	-
400~630	-	1.5	-	-	-	-	1.5	2	-	1.5	-
800~5000	-	1.5	-	-	-	-	1	1.5	-	1.5	-
6300~10000	-	2.5	-	-	-	-	2 ⁶⁾	2.5 ⁶⁾	-	2.5 ⁶⁾	-

注：1) 在测试的频率范围内噪声谱相对“平”的声源。

2) 离散纯音占主要成分的声源。

3) 对无指向性并辐射宽带噪声的相似声源，在相似测试环境中比较时。

4) A计权(从倍频程中心频率63~4000Hz，或从1/3倍频程中心频率50~6300Hz)。

5) 通常在室外测量，多数房间不能满足这个频带。

6) 仅指6300Hz的1/3倍频带。

硬壁测试室比较法适用于小型可移动的声源。它要求测试室的声学反射性能高，容积至少有40m³，并且至少是基准体的40倍，还需要使用标准声源进行比较测试。具备上述条件才能用此方法获得较高的测量准确度。

标准声源简易法趋于淘汰，但可用于确定环境修正值 K_2 。

为直观起见，将选择适当声功率级测试方法标准的步骤用流程图表示。对于某一台机器设备，可能只有一种方法可用，也可能有几种方法可用，视具体情况而定。



选择声功率级测量方法标准流程图

上图中：L——被测声源噪声与背景噪声声压级之差；
V——测试室体积；
a——壁面吸声系数；
 L_r ——测试环境的空间声分布指数；
 K_2 ——环境修正值；
 F_3 ——声功率级指示值；
 F_2 ——测量表面的声压——声强指示值。
声强法包括离散点法和扫描法。

有关机械设备发射声压级测量的B类国家标准见表5.3。

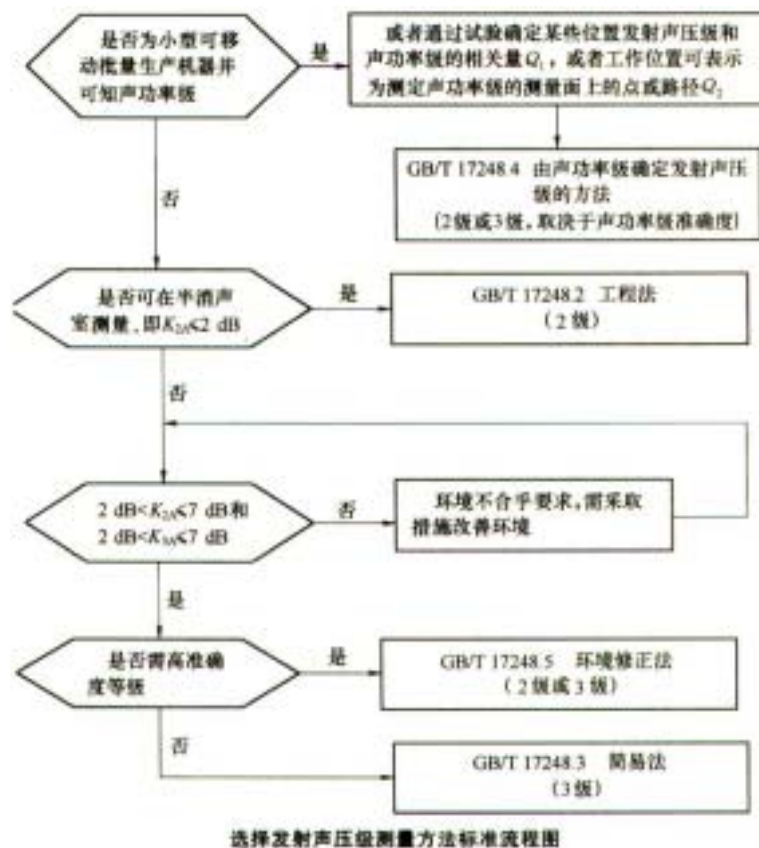
表5.3 不同发射声压级测量方法标准的概要

参量	ISO11201：1995 GB/T17248.2 2级	ISO11202：1995 GB/T17248.3 3级	ISO11203：1995 GB/T17248.4 2级或3级	ISO11204：1995 GB/T17248.5 2级或3级
测试环境	一个反射面上方近似自由场	无专门测试环境	与声功率级测定标准相同	无专门测试环境
测试环境适用准则	$K_{2A} \leq 2\text{dB}^{(1)}$	$K_{2A} \leq 7\text{dB}^{(1)}$	与声功率级测定标准相同	$K_{2A} \leq 7\text{dB}^{(1)}$
声源体积	无规定,仅受可利用的测试环境的限制	无规定,仅受可利用的测试环境的限制	特别适用于小型批量生产机器设备	无规定,仅受可利用的测试环境的限制
噪声特性	任意	任意	与声功率级测定标准相同	任意
对背景噪声的限定	每一指定位置 $L \geq 6\text{dB}^{(2)}$ (尽可能 $> 15\text{dB}$) $K_{1A} \leq 1.3\text{dB}^{(1)}$	每一指定位置 $L \geq 3\text{dB}^{(2)}$ (尽可能 $> 10\text{dB}$) $K_{1A} \leq 3\text{dB}^{(1)}$	与声功率级测定标准相同	每一指定位置 $L \geq 6\text{dB}^{(2)}$ (尽可能 $> 15\text{dB}$) $K_{1A} \leq 1.3\text{dB}^{(1)}$
对局部环境修正值的限定	不允许有环境修正	$K_{3A} \leq 2.5\text{dB}^{(1)}$		工程法(2级): $K_{3A} \leq 2\text{dB}^{(1)}$ 简易法(3级): $2\text{dB} < K_{3A} \leq 7\text{dB}$
仪器 ³⁾ a) 声级计至少满足 b) 积分声级计至少满足 c) 带通滤波器至少满足 d) 校准器至少满足	a) 1级 b) 1级 c) 1级 d) 1级	a) 2级 b) 2级 c) 1级 d) 1级	与声功率级测定标准相同	a) 1级 b) 1级 c) 1级 d) 1级
参量	ISO11201：1995 GB/T17248.2 2级	ISO11202：1995 GB/T17248.3 3级	ISO11203：1995 GB/T17248.4 2级或3级	ISO11204：1995 GB/T17248.5 2级或3级
可得到的资料	A计权声级、C计权峰值声级、优选频带声压级	A计权声级、C计权峰值声级	与声功率级测定标准相同	A计权声级、C计权峰值声级、优选频带声压级
发射声压级测定方法的准确度用再现性标准偏差表示	$\sigma_R \leq 2.5\text{dB}^{(4)}$	$\sigma_R \leq 5\text{dB}^{(4)}$	等于所采用的声功率级测定方法得到的准确度	工程法： $\sigma_R \leq 2.5\text{dB}^{(4)}$ 简易法： $\sigma_R \leq 5\text{dB}^{(4)}$
相关声功率级测量标准	GB/T3767	GB/T3768	GB/T6881.2 GB/T3767 GB/T3768 GB/T16538 ISO3747:2000 GB/T16404 GB/T16404.2	工程法：GB/T3767 简易法：GB/T3768

注 1) 发射声压级一般用A计权声压级表示。 K_{1A} 为背景噪声修正值， K_{2A} 为环境修正值， K_{3A} 为局部环境修正值。

2) L指被测声源工作期间测得的声压级与背景噪声声压级之差。

3) 考虑到这些标准所适用的设备彼此相差较大，因此这里给出的是试验性建议值。



上图： K_{20} 指环境修正值；
 K_{30} 指测点位置的局部环境修正值。

上图给出了选择发射声压级测量方法标准的流程图。实际上，测定声功率级标准的选择会对发射声压级标准的选择产生影响，此外，对于某一台机器设备而言，可能有多种测量方法可以选择，因此在选择发射声压级标准时，应根据不同的测试环境和对测量结果的准确度要求，选择那些能够兼顾声功率级和发射声压级两个噪声发射表征量的标准。一般情况下，标准推荐标示的噪声发射值用A计权时间平均发射声压级和A计权声功率级，如果从事噪声源分析和噪声控制，则可测量频带声级和详细的噪声特性数据。

发射声压级测定的条件（工作条件、安装条件、测试环境、测量的准确度等）需与声功率级测定的条件相同。

第六章 振动测量技术

一、概述

声是空气（或其它介质）中质点的快速振动在人耳中的反应，这里我们讨论固体中的振动，固体中的振动也是我们经常遇到的，例如机器、车辆、飞机、船舶、大炮等等都可能产生振动。

物体的振动是相对于物体某一参考状态下的振荡。在振动中有三个物理量：位移 s 、速度 v 和加速度 a 。三个量之间的关系列于表6.1中，作为特殊例子，表中也给出了对于正弦波三个振动量之间的关系。三个振动量中，位移在研究机械结构的强度和变形时较为有用，它亦被经常用来指示旋转机件的不平衡；加速度由于它和作用力及负载成比例，常常在研究机械的疲劳、冲击等方面被采用，现在也普遍用于评价振动对人体的影响；振动的速度和噪声的大小直接有直接关系。总之，选择测量参数决定于研究对象。

在实用单位制中，位移 s 的单位是 m ，速度 v 的单位是 m/s ，加速度 a 的单位是 m/s^2 。另外，常用 g 来表示加速度单位， g 是地球引力所引起的重力加速度。因为重力加速度随纬度和海拔高度而改变，所以，选择标准重力加速度为 $1g=9.80665m/s^2\approx 9.81m/s^2$ 。

表6.1 位移、速度、加速度关系表

已知量	变换为		
	s	v	a
s $s=S_0 \sin(\omega t)$		$v=\frac{ds}{dt}$ $v=\omega S_0 \cos(\omega t)$	$a=\frac{d^2s}{dt^2}$ $a=-\omega^2 S_0 \sin(\omega t)$
v $v=V_0 \sin(\omega t)$	$s=\int v dt$ $s=\frac{1}{\omega} V_0 \cos(\omega t)$		$a=\frac{dv}{dt}$ $a=\omega V_0 \cos(\omega t)$
a $a=A_0 \sin(\omega t)$	$s=\iint a dt^2$ $s=\frac{1}{\omega^2} A_0 \sin(\omega t)$	$v=\int a dt$ $v=\frac{1}{\omega} A_0 \cos(\omega t)$	

二、振动传感器

在现代振动测量中，除某些特定情况采用光学测量外，一般用电测的方法，将振动运动转变为电学（或其它物理量）信号的装置称为振动传感器。

根据被测振动运动是位移、速度还是加速度，可以将振动传感器分为位移传感器、速度传感器和加速度传感器。由于位移和速度分别可由速度和加速度积分所得，因而速度传感器还可以用于测量位移，加速度传感器也可用来测量速度和位移。

从力学原理上，振动传感器又可分为绝对式传感器和相对式传感器。绝对式传感器测量振动物体的绝对运动，这时需将振动传感器基座固定在振动体待测点上。绝对式振动传感器的主要力学组件是一个惯性质量块和支承弹簧，质量块经弹簧与传感器基座相连，在一定频率范围内，质量块相对基座的运动（位移、速度和加速度）与作为基础的振动物体的振动（位移、速度、加速度）成正比，传感器敏感组件再把质量块与基座的相对运动转变为与之成正比的电信号，从而实现绝对式振动测量。相对式传感器测量振动体待测点与固定基准的相对运动，这时，由传感器敏感组件直接将此相对运动（即振动体的运动）转变为电信号。相对式传感器又可分为接触式和非接触式两种。实际上，有时（如振动体在空间宏观移动）很难建立一个测量的固定基准，另外，从现场振动测量的便利条件和应用方便而言，使用得最多的是绝对式传感器。但在某些场合，无法或不允许将传感器直接固定在试件上（如旋转轴、轻小结构件等），必须采用相对式传感器。

从电学原理上，根据所采用的将力学量转变为电学量的传感器敏感组件的性质，振动传感器又可分为电感型、电动型、电涡流型、压电型等。

振动传感器的技术性能主要有：

- 1、频率特性：包括幅频特性和相频特性。
- 2、灵敏度：电信号输出与被测振动输入之比。
- 3、动态范围：可测量的最大振动量与最小振动量之比。

4、幅值线性度：理论上在测量频率范围内传感器灵敏度应为常数，即输出信号与被测振动成正比。实际上传感器只在一定幅值范围保持线性特性，偏离比例常数的范围称为非线性，在规定线性度内可测幅值范围称为线性范围。

5、横向灵敏度：实际传感器除了感受测量主轴方向的振动，对于垂直于主轴方向的横向振动也会产生输出信号。横向灵敏度通常用主轴灵敏度的百分比来表示。从使用观点看，横向灵敏度越小越好，一般要求小于3%~5%。

目前使用较多的相对式位移传感器为电涡流传感器，它的特点是结构简单，灵敏度高，线性好，频率范围宽（0~10kHz），抗干扰性强，因此广泛应用于非接触式振动位移测量，尤其是大量应用大型旋转机械上监测轴系的径向振动和轴向振动。

速度传感器应用较广的是电动式速度传感器，它又分为相对式和绝对式。这种传感器的灵敏度比较高，特别是在几百Hz以下的频率范围内，它的输出电压较大。此外，它的线圈阻抗较低，因而对与它相配的测量仪器的输入阻抗、连接电线的长度及质量要求都较低。通过电子线路的微分或积分可获得振动的加速度值和位移值。

用于测量振动加速度最多的是压电式传感器，又称加速度传感器或加速度计。加速度计是一种压电换能器，它能把振动或冲击的加速度转换成与之成正比的电压（或电荷）。加速度计具有体积小、重量轻、频响宽、耐高温、稳定性好及无须参考位置等优点，由于它的脉冲响应优异，更适用于冲击的测量。

加速度计的结构简图如图6.1所示。换能组件为两个压电晶体片，压电片上放一重的质量块，质量块事先用硬弹簧压住，整个系统放置在具有厚底的金属壳中。加速度计受到振动时，质量块在压电片上产生一交变压力，这力正比于质量块的加速度，也就是 $F=ma$ 。由于压电效应，在两片压电片上产生一交变电压，此电压正比于所受的力，因此也正比于质量块的加速度。对于频率远低于质量块与整个加速度计系统刚性的谐振频率的振动，质量块的加速度事实上与整个换能器的加速度相同。因此，可以说压电片上产生的电压就正比于整个换能器的加速度。这个电压可以从加速度计输出端引出，并被用来确定振动的幅度、波形和频率。

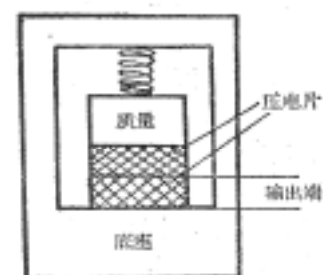


图 6.1 加速度计结构简图

加速度计的主要性能之一是灵敏度，它是每单位加速度作用时的输出电压或输出电荷量，前者叫电压灵敏度 S_v ，单位是 $mV/m.s^{-2}$ ；后者叫电荷灵敏度 S_Q ，单位是 $pC/m.s^{-2}$ 。它们之间的关系是：

$$S_v = \frac{S_Q}{C_a + C_c} \quad (6-1)$$

式中： C_a 是加速度计的电容容量； C_c 是电缆的电容容量。

加速度计的电荷灵敏度仅仅决定于加速度计本身而与电缆的长度无关，因此在使用长电缆时不必修正灵敏度值，使用比较方便，但是这必须与电荷放大器配合使用。电压灵敏度与电缆的关系很大，所给出的电压灵敏度往往是指一定电缆电容而言。当电缆不同时，电压灵敏度也不同，但是只需要用一般放大器进行放大和测量。另外，我们要注意电荷灵敏度或电压灵敏度所对应的参数可以是平均值、有效值或峰值，它们的关系是：

$$V_{\text{有效值}}/g_{\text{峰值}} = 0.707 V_{\text{峰值}}/g_{\text{有效值}} = 0.707 V_{\text{有效值}}/g_{\text{有效值}} \quad (6-2)$$

加速度计的另一主要性能是频率响应，也就是灵敏度与频率的关系。加速度计的低频响应决定于与之连接的放大器的输入电阻 R 和加速度计电容量、电缆线电容量和分布电容之和 C 。 RC 越大，系统可测低频下限越低。高频响应主要决定于加速度计的谐振频率，谐振频率有两种：一种称为自由悬挂谐振频率，即加速度计不与外界有任何接触情况下，加速度计内部谐振频率；另一种是安装谐振频率，即加速度计固定在被测结构（大质量）上时的谐振频率。在实际使用时，安装谐振频率是重要的参数。加速度计出厂时给出的就是安装频响曲线（图6.2）和安装谐振频率。从（图6.2）可以看出，在安装谐振频率 $1/5$ 频率以下，灵敏度相对变化小于 0.5dB ，因此加速度计的工作频率不能高于安装谐振频率的 $1/5$ 。

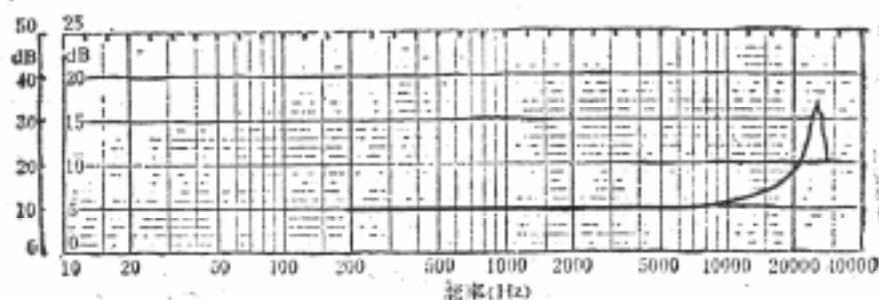


图6.2 加速度计的频率响应曲线

加速度计测量加速度的范围（动态范围），其下限决定于连接电缆的噪声和配用的电子仪表的本底噪声，典型的可低至 0.01m/s^2 ；其上限取决于压电组件的非线性和加速度计的结构强度。对于测量振动的加速度计，规定灵敏度线性变化在 5% 以内的最大加速度为最大可测上限，典型的可至 $50000 \sim 100000\text{m/s}^2$ ；对于测量冲击的加速度计，规定灵敏度线性变化在 10% 以内的最大加速度为最大可测上限，一种特为冲击测量设计的加速度计最高可达 1000km/s^2 。

加速度是一个矢量，它有三个分量，当我们指定某一方向进行测量时，不希望其它两个正交方向的振动影响输出，也就是要求加速度计的横向灵敏度尽可能低。一般用横向灵敏度和主向灵敏度之比的百分数来表示，叫横向灵敏度比。出厂时加速度计上都标有最小横向灵敏度的方向。但是，当需要同时测量三个轴向振动时，可选用三轴向加速度计，如CA-YD-116。

另一种内装集成电路的压电式加速度计（例如CA-YD-184）已被普遍选用，这种传感器提供低阻抗的输出电压，输出阻抗小于 100Ω ，可以直接连接到一般放大器的输入端，不再需要另加高阻抗的电荷放大器或电压放大器。它由 $12 \sim 24\text{V}$ 恒流源供电，因此输出仍为两线，不需另加电源线，使用非常方便。

表6.2中列出了几种国产加速度计的主要性能，它们所用压电材料是锆钛酸铅，此材料是目前同类材料中电压模数和稳定性等技术性能较好的一种。加速度计灵敏度每年约降低 $1 \sim 5\%$ ，因此，为保持测量精度最好每年校准一次。

表6.2 几种加速度计的主要性能

加速度计型号	CA-YD-104	CA-YD-106	CA-YD-184	CA-YD-116	CA-YD-141	CA-YD-126	AWA14100
电荷灵敏度 (pC/m.s ⁻²)	3.5	2.5	—	1	1	0.2	
电压灵敏度 (mV/m.s ⁻²)	—	—	5	—	—	—	40
频率范围(Hz)	0.5~5k	0.5~12k	0.3~4k	1~5k	1~5k	1~15k	1~300
内部结构形式	倒置中心压缩	中心压缩	三角剪切	三向 平面剪切	三向 三角剪切	环型剪切	中心压缩
极限温度()	120	120	120	150	150	150	60
最大加速度 (m.s ⁻²)	8×10 ³	1.5×10 ⁴	1×10 ³	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁵	100
最大横向灵敏度比(%)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
输出引线方式	顶端	顶端	顶端	侧端	侧端	侧端整体联机	侧端
外形尺寸(mm)	φ19×32	φ17×23	Φ20×2823	28×28×16	20×20×10	φ8.5×10	80×80×80
重量(g)	30	15	26	70	17	4	450
特点	通用型	通用型	通用型	三轴向	微型三轴向	微型	低频

由表6.2可知，重量比较轻的加速度计，工作频率高，最大可测加速度值大，但灵敏度低。反之，比较重的加速度计，灵敏度高，但工作频率低，最大可测加速度值小。

正确地将加速度计安装到被测振动物体上是很重要的。要求加速度计和被测物体之间的安装表面平直光滑，机械连接越紧密牢固，其使用的上限频率越高。我们可以用螺栓、磁性夹头、胶粘等方法来安装，如图6.3所示，当指示仪器没有浮动地线时，宜采用绝缘安装方法比较好，这样可以减小地回路的噪声。另外测试时应将电缆线固定，以防止由于电缆屏蔽层和绝缘材料间的磨擦产生电荷而在指示仪表输入端引起噪声。

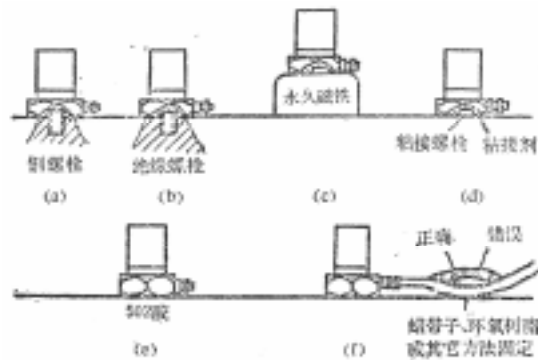


图6.3 加速度计安装方法

在实际测量中，加速度计的谐振频率往往处于指示仪表频率范围内，如果被测振动的频谱中包含有这一固有频率成分，那怕强度很微弱，都可能由于受迫作用而产生谐振；此外，被测振动（如风动工具）的频谱中也可能含有高振级的高频成分。这样，在低频，尤其是低频低振级测量时，高频成分可能“淹没”低频成分而无法检测；在窄带测量时，因前置放大器过载而产生很大的测试误差；而瞬时的高强度振动或冲击甚至会毁坏加速度计。为此，在加速度计与被测对象之间安放一个机械滤波器，能将高频限降低至0.5~5kHz。机械滤波器两极间粘弹性阻尼材料丁基橡胶，它还可以有效地防止测试过程中地回路干扰。

三、振动前置放大器

振动前置放大器的基本作用是把压电加速度计的高阻抗输出转换为低阻抗的信号，以便直接送至测量仪器或分析仪器中。与压电加速度计配用的前置放大器有两种，即电荷放大器和电压前置放大器。

1、 电荷放大器

电荷放大器给出一个与输入电荷成正比例的输出电压，但并不对电荷进行放大。电荷放大器的最明显的优点在于：无论使用长电缆还是短电缆都不会改变整个系统的灵敏度，因此在振动测量中优先采用电荷放大器。

电荷放大器采用一个运算放大器，这个运算放大器的反馈回路上接一只电容器，以形成一个积分网络对输入电流进行积分，这个输入电流是由加速度计内部的高阻抗压电元件上产生的电荷形成的，从而形成与电荷最终也与加速度计的加速度成比例的输出电压。图6.4表示压电加速度计和电荷放大器相连接的等效电路。

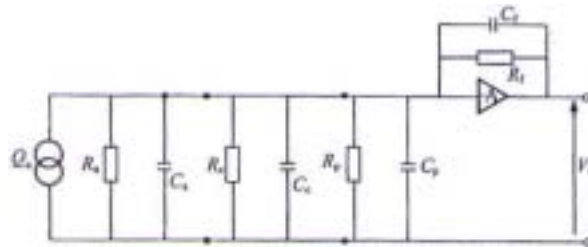


图 6.4 电缆连接加速度计和电荷放大器的等效电路

图中： Q_a =压电加速度计产生的电荷（与所加的加速度成比例）

C_a =加速度计的电容值； R_a =加速度计的电阻值； C_c =电缆和连接插头的电容值；

R_c =电缆和连接插头的电阻值； C_p =前置放大器输入电容值； R_p =前置放大器输入电阻值；

C_f =反馈电容值； R_f =反馈电阻值； A =运算放大器增益； V_o =放大器输出电压。

由于加速度计的阻值、放大器输入电阻值和反馈电阻值都很大，因此图6.4所示电路可以简化为图6.5所示电路。

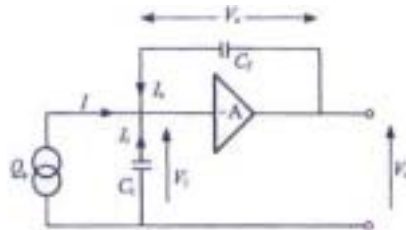


图 6.5 加速度计和电荷放大器相连的简化等效电路

图中： $C_t = C_a + C_c + C_p$

I =从加速度计出来的总电流

I_i =从 C_t 出来的电流

I_c =运算放大器反馈回路上的电流。

经计算可以得到下列等式：

$$V_o = -\frac{Q_a}{C_f} \quad (6-3)$$

从上式可见，输出电压与输入电荷成比例，也就是输出电压与加速度计的加速度成比例。前置放大器的增益由反馈电容值决定，而输入电容值对输出电压值并不起作用，也就是改变电缆线长度并不影响系统的灵敏度。由于电荷放大器这一显著特点，它不仅应用在测振仪内作为前置放大器，而且还作为单独产品与加速度计配合使用，这种电荷放大器还可具有加速度计灵敏度适配、放大、积分以获得速度信号和位移信号、输入输出过载报警，以及进行低频和低频滤波以去除无用信号等功能。

2、电压前置放大器

电压前置放大器检测由振动引起的加速度计上的电压变化，并产生与此成比例的输出电压。与电荷放大器相比的缺点是，电缆电容量的变化引起整个灵敏度的变化。

将一个加速度计连到电压前置放大器的等效电路见图6.6。除了运算放大器连接成增益为1的电压缓冲器，其余与图6.4完全一样。当加速度计不接电缆，也不与前置放大器相连时，它有一个输出电压 V_a 。

$$V_a = -\frac{Q_a}{C_a} \quad (6-4)$$

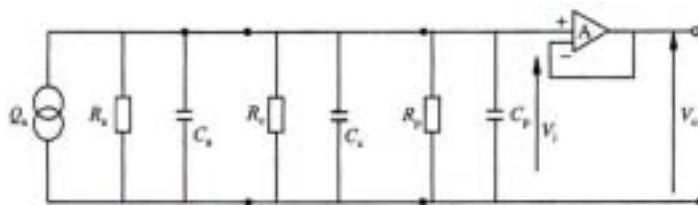


图 6.6 用压电加速度计作为一个电压源的电压前置放大器的等效电路

可以计算出加速度计的电压灵敏度 S_{va} (mV/ms^{-2}) 和电荷灵敏度 S_{qa} (pC/ms^{-2}) 的关系，

$$S_{va} = \frac{S_{qa}}{C_a + C_c + C_p} \quad (6-5)$$

$$= S_{va}(\text{开路}) \frac{C_a}{C_a + C_c + C_p} \quad (6-6)$$

因为电荷灵敏度 S_{qa} 和 C_a 是加速度计的常数，故电压灵敏度 S_{va} 取决于电缆的电容量，这意味着如果更换电缆，电压灵敏度随之改变，从而需要重新进行校准，使用很不方便。另外，如使用较长电缆线会使信噪比降低。因此它一般不作为单独仪器提供与加速度计配合使用，但对于电缆线长度固定不变场合可以使用电压前置放大器。

四、通用振动计

通用振动计是用于测量振动加速度、速度、位移的仪器，可以测量机械振动和冲击振动的有效值、峰值等，频率范围从零点几赫兹～几千赫兹。通用振动计由加速度传感器、电荷放大器、积分器、高通滤波器、检波电路及指示器、校准信号振荡器、电源等组成。工作原理方框图如图6.7所示。

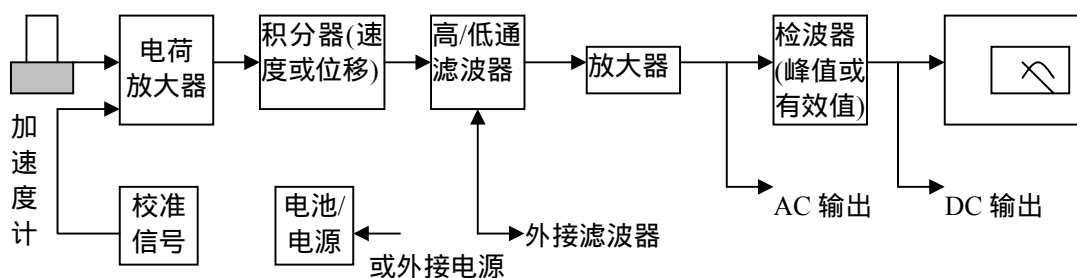


图6.7 振动计工作原理方框图

加速度传感器检取的振动信号经电荷放大器，将电荷信号转变为电压信号，送到积分器经两次积分后，分别产生相应的速度和位移信号。来自积分器的信号送到高低通滤波器，滤波器的上下限截止频率由开关选定。然后信号送到检波器，将交流信号变换为直流信号。检波器可以是峰值或有效值检波，在一般情况下，测加速度时选峰值检波，测速度时选有效值（RMS）检波，测位移时选峰-峰值检波。检波后信号被送到表头或数字显示器，直接读出被测振动的加速度、速度或位移值。

通用振动计内的校准信号振荡器使得仪器具有自校的功能，还可根据传感器的灵敏度来调节整机灵敏度。而有的振动计具有加速度计灵敏度适调开关，则灵敏度适调功能由该开关完成。振动计还可以外接滤波器进行频率分析。

振动计的选择首先要依据测量对象的振动类型（周期振动、随机振动和冲击振动）、振动的幅度，以及对于所研究的振动确定合适的测量项目（加速度、速度、位移、波形记录和频谱分析），选择合适的振动测量或分析系统。有的振动测量研究只需了解振动的位移值（如机械轴系的轴向和径向振动），有的研究了解振动的速度值（如机械底座、轴承座的振动），而且常常把振动烈度，即10Hz～1kHz频率范围内振动速度的有效值，作为评价机器振动的主要评价量。另外还需考虑测量的频率范围，幅值的动态范围，仪器的最小分辨率。对于冲击测量还应考虑振动测量仪的相位特性，因为冲击振动频谱分量所确定的频率范围内，不仅要求测量设备的频率响应必须是线性的，而且要求设备的相位响应不能发生转变。

AWA5933型振动计是一种袖珍式振动测量仪器，它可以直接测量振动的加速度峰值、速度有效值、位移峰-峰值，并由数字显示。测量范围：加速度 $0.01 \sim 199.9\text{m/s}^2$ ，速度 $0.01 \sim 199.9\text{mm/s}$ ，位移 $0.1 \sim 1999\mu\text{m}$ 。频率范围：10Hz～1000Hz。并具有交流和直流输出，可外接AWA3310型频率计，测量振动的频率。

五、机器振动的测量

各种类型的机器，由于多种不平衡力的作用，或大或小总会产生振动。当振动作用于易于辐射噪声的物体上，如机壳或金属板上时，则激发这些结构产生振动，并发出强烈的噪声。对于这种振动的测量，不仅应在机器设备辐射噪声的机身表面选择测点，也应在振源的位置（如电动机或风机的底座上）选择测点，以便寻找为降低噪声采取相应的隔振、减振措施。

对于这种激发噪声的振动，测量其声频范围内振动的有效值，以及31.5Hz至8kHz 9个倍频带的振动值，如有必要可进行更详细的振动频率分析。振动值可以用加速度、速度和位移中的任一个表示，机械振动常用位移量值表示，而与辐射噪声直接相关的振动，尤其是大面积振动用振动速度表示。大部分机

器振动都以10Hz～1000Hz频率范围内的速度有效值（振动烈度）来进行评价，表6.3中列出了机器设备振动烈度评定表。

表6.3 机器振动烈度评定表

振动烈度 mm/s	分贝 dB	机器和设备分类				
		I				
0.28～0.45	93	A	A	A	A	A
0.45～0.71	97					
0.71～1.12	101					
1.12～1.80	105	B				
1.80～2.80	109		B			
2.80～4.50	113	C		B		
4.50～7.10	117		C		B	
7.10～11.2	121	D		C		B
11.2～18.0	125		D		C	
18.0～28.0	129			D		C
28.0～45.0	133				D	
45.0～71.0	137					D
71.0～112.0	141					

表中以公比1:1.6或以4 dB为级差，逐次算出每一振动烈度的数量级，分贝的基准值取 10^{-6} mm/s。A，B，C，D为振动质量级，A表示良好工作状态，B表示正常工作状态，C表示容忍工作状态，D表示不容许工作状态。而设备分类I类表示小型机器，类表示中型机器，类表示大型机器，类表示透平机器，类表示特大型机器。

以电机振动测量为例，对于轴中心高（立式电机为电机直径的一半，下同）为45mm至630mm，转速为600r/min至3600r/min的单台电机，在稳态运行时振动速度（有效值）的测定按国家标准GB2807-81《电机振动测定方法》进行。但该标准不适用于已安装在使用地点的电机、水轮发电机和微型驱动（直流、同步）电机、微型控制电机。

测量仪器的频率响应范围应为10Hz至1000Hz（或1000Hz以上），在此频率范围内的相对灵敏度以80Hz的相对灵敏度为基准，其它频率的相对灵敏度应在基准灵敏度的+10%至-20%的范围以内。测量误差应小于±10%。

对轴中心高为400mm及以下的电机，应采用弹性安装。此时，弹性悬吊系统的拉伸量或弹性支撑系统的压缩量(δ)应符合下式的要求：

$$15\left(\frac{1000}{n}\right)^2 < \delta \leq KZ \quad (6-7)$$

式中：δ是电机安装后弹性系统的实际变形量，mm；n是电机的转速，r/min；K是弹性材料线性系数，对乳胶海绵K=0.4；Z是弹性系统被压缩前的自由高度，mm。

为保证弹性垫受压均匀，被试电机应先置于有足够刚性的过渡板（如硬塑板、层压板）上，然后再置于弹性垫上。电机底脚平面与水平面的轴向倾斜角应不大于 5° 。弹性支撑系统的总重量应不超过电机重量的 $1/10$ 。当刚性过渡板会产生附加振动时，允许将电机直接置于弹性垫上。

对轴中心高超过400mm的电机，应采用刚性安装，此时安装平台、基础和地基三者应刚性联结，如基础有隔振措施或与地基无刚性联结，则基础和安装平台的总重量应大于被试电机重量的10倍，安装平台和基础应不产生附加振动或与电机共振。在安装平台上测得的振动速度有效值应小于被测电机最大振动速度有效值的10%。

电机应在空载电动机状态下进行测定，此时转速（对交流电机频率应为额定值）和电压（对具有串激特性的电机除外）应保持额定值。当用静止整流电源供电时，电源应符合有关标准的规定。对多速电机或调速电机，应在振动为最大的额定转速下进行测定。

对采用键联结的电机，测量时轴伸上应带半键，但必须采取有效的安全措施，并应保证尽可能不破坏原有的平衡。对于双轴伸的电机，非主传动端应根据实际使用情况，决定是否带半键进行测定。

测点数一般为7点，在电机两端按轴向、垂直径向和水平径向各1点，机壳中央顶部1点配置（图6.8）。对带座式轴承的大型电机，中央顶部1点可用中央水平径向的1点代替。对微型驱动异步电机可取消中央顶部1点（即图6.8中的第4点）。对有外风扇的电机，可取消风扇端的轴向测点。而对斜槽转子的电机，应在非风扇端的轴向测点上同时测量正、反两个旋转方向的轴向振动（单向旋转的电机除外）。

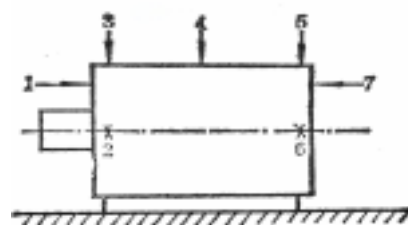


图 6.8 电机振动测点配置

测量时，测量仪器的传感器与测点的接触必须良好，并应保证具有可靠的联结。传感器及其安装附件的总重量应小于电机重量的 $1/50$ 。电机的振动值以各测点所测得的最大数值为准。

六、机器的振动监测

使用旋转机械的振动资料来确定机器的完好情况，已经有一段很长的历史了。传统的方法是，车间领班或维修工把一字旋具的末端压在轴承座上，将手柄贴着自己的耳朵（乳突），这样，由轴承传来的振动信号由他的脑子进行分析。这种方法几十年来证明是可依赖的，以致仪器行业试图设计出能起同样作用的仪器，而且它们的功能是能重现的，换句话说，仪器的功能与各个使用者的技能和经验无关。

许多年以来，机器故障检测都是使用振动计测量振动速度的有效值读数（振动烈度）与以前的读数作比较，或与既定标准作比较来进行的，普遍认为，当出现的振动级比正常振动级高2-3倍（6~10dB）时，机器应当进行维修。它有可能识别不平衡、较大的不同心和严重的轴弯曲，因为这些信号的能量较高，而能量低的信号被隐没在较强的振动信号中。早期的滚珠轴承故障或齿轮箱故障都不可能用这种方法检测，至少在它们产生的振动信号高于被测频带中最高成分振级以前检测不出来，因此，宽带振动监测不能检测出发展中的故障。

假如进行频谱比较，只要频谱中一个频带增加3~6dB以上，就能检测出变化，从而很早就发出警告。即使使用倍频程滤波器，其结果证明远远优于总振级的测量。但为了能区别齿轮箱和一般轴承中的早期

故障，必须有较高的分辨率，而1/3倍频程（≈23%）在有些情况下是很有用的。使用恒百分比带宽频谱检测故障，运用快速数据处理，可简易而确实地检测出早期故障。但这样给出的警告太早了，以致在故障被检测出来以后还允许工作几个月，才有必要送去修理。

一种更加先进的方法是使用FFT（快速傅里叶变换），使用FFT的故障诊断具有各种事先和事后处理，使它成为今天用于故障诊断的许多最有用的仪器之一。丹麦B&K公司2515型振动分析仪就是这样一种仪器，它是便携式、电池供电、全天候的分析仪，它能当场回答操作者“机器运行得正常吗？”，其它的如2148、3550和3560等信号分析仪亦可以作机器故障诊断使用。国内北京自动化研究所、南京汽轮机厂等亦研制生产机器振动监测和故障诊断仪器，用于对汽轮机、发电机、电动机、压缩机、鼓风机、泵以及其它旋转机械的运行状态进行监测，包括轴向振动监测器、轴向位移监测器、机壳振动监测器和温度监测器，可用于长期在线监测。

杭州爱华仪器有限公司研制的AWA6290A型多信道噪声振动分析仪的振动测量信道用来测量机器振动，还可以加入转速信道。该仪器可以进行FFT分析，也可以进行1/3倍频程谱分析。也可以显示振动随转速的变化，它还可以根据用户的需要提供不同软件和功能，用于测量机器振动和人体振动。

七、人体振动的评价

（一）全身振动的测量与评价：有关人体全身振动评价的国际标准为 ISO2631，该标准涉及全身振动，不包括直接作用于肢体的振动（例如通过动力工具）。老的标准分为 ISO2631-1：1985 一般要求；ISO2631-2：1989 建筑物内连续与冲击引起的振动；ISO2631-3：1985 频率范围 0.1 至 0.63Hz 全身 Z 轴垂向振动暴露的评价。新的标准将第 1 部分与第 3 部分合并为 ISO2631-1：1997 一般要求，这一部分规定了周期的、无规的和瞬态的全身振动的测量方法。增加了 ISO2631-4：2001 固定轨道运输工具中，振动和旋转运动对乘客和乘务员影响的评价，这一部分提供了 ISO2631-1 应用于固定轨道系统中乘客和乘务员影响的评价。ISO2631-2 没有新的版本。ISO 又根据这些修订并发布了 ISO8041：2005 人体对振动的响应——测量仪器。

有关人体全身振动评价的新标准与老标准比较有了很大的改变，主要表现在：

1、基本评价方法：测量计权方均根（有效值）加速度并作为基本评价方法，而不再采用评级(即比值)的方法。计权有效值加速度对平移振动以 m/s^2 表示，对旋转运动以 rad/s^2 （弧度/秒²）表示。计权有效值加速度按下式或它的频域中的当量来计算：

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6-8)$$

式中： $a_w(t)$ 是作为时间函数的计权加速度（平移或旋转），单位分别为 m/s^2 或 rad/s^2 ；

T 是测量时间，秒。

2、频率计权曲线：在 ISO2631-1：1997 中规定了三种基本计权的频率计权曲线和三种补充计权因子的频率计权曲线，以及它们的应用指南，见表 6.4 和表 6.5。它们适用于通过以下支撑表面传递到人体全

身的运动：站着人体的脚，坐着人体的臂部、背部和脚，或躺着人体的支撑区域。这类振动在车辆、机器、建筑物及在工作机器附近都可遇到。

表 6.4 基本计权的频率计权曲线应用指南

频率计权	健康	舒适性	感觉	运动病
W_k	z 轴，坐着表面	z 轴，坐着表面 z 轴，站着 垂向躺着（除头） x- , y- , z-轴，脚（坐着）	z-轴，坐着表面 z-轴，站着 垂向躺着 —	——
W_d	x 轴，坐着表面 y 轴，坐着表面	x-轴，坐着表面 y-轴，坐着表面 x- , y-轴，站着 水平躺着 y- , z-轴，坐着靠背	x-轴，坐着表面 y-轴，坐着表面 x- , y-轴，站着 水平躺着	——
W_f	——	——		垂向

表 6.5 补充计权因子的频率计权曲线应用指南

频率计权因子	健康	舒适性	感觉	运动病
W_c	x-轴，坐着靠背	x-轴，坐着靠背	x-轴，坐着靠背	——
W_e	——	r_{x-} , r_{y-} , r_{z-} -轴，坐着表面	r_{x-} , r_{y-} , r_{z-} -轴，坐着表面	
W_j		垂向躺着（头）	垂向躺着（头）	

W_k 与老标准全身垂向 z 计权相接近， W_d 与老标准全身水平 x-y 计权相接近，但不完全相同，而且对它们（以及 W_c ， W_e ， W_j ）的频率范围均为 0.5Hz~80Hz，而老标准为 1Hz~80Hz； W_f 也有类似情况且频率范围为 0.1Hz~0.5Hz，老标准为 0.1Hz~0.63Hz。

它们的频率计权曲线分别表示在图 6.9 和图 6.10。

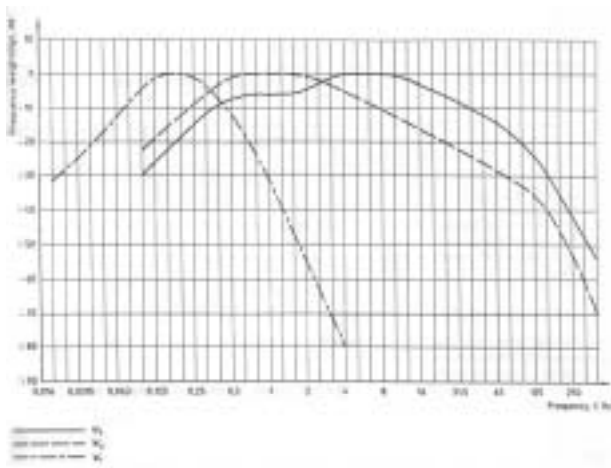


图 6.9 基本计权的频率计权曲线

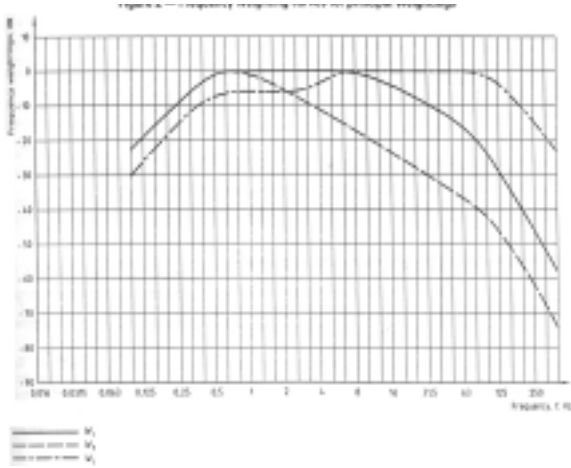


图 6.10 补充计权因子的频率计权曲线

3、高峰值因数振动：近年来的研究指出在振动暴露中的加速度峰值是重要的，尤其对健康的影响。某些实验已经表明评价振动的方均根方法对于具有重要峰值振动的影响估计过低。对于具有这种高峰值

特别是对于峰值因数大于 9 的振动，提出了补充的或另一种测量程序，而方均根方法适用于峰值因数小于或等于 9。

峰值因数定义为在某一测量时间内，频率计权加速度信号的最大瞬时峰值与其有效值之比的模。对于高峰值因数（> 9）的振动使用运行有效值（the running r.m.s）或四次方振动剂量值进行补充评价。

（1）运行有效值评价方法：通过使用一短积分时间常数来评价偶然冲击和瞬态振动。振动幅度定义为最大瞬态振动值（MTVV），并定义为下式 $a_w(t_o)$ 时间中的最大值。

$$a_w(t_o) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_o-\tau}^{t_o} [a_w(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (6-9)$$

式中 $a_w(t)$ 是瞬时频率计权加速度；

τ 是运行平均的积分时间；

t 是时间（积分变量）；

t_o 是观测时间（瞬时时间）

这一定义线性积分的公式可如 ISO8041 中定义的指数积分来近似：

$$a_w(t_o) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^{t_o} [a_w(t)]^2 \exp\left[-\frac{t-t_o}{\tau}\right] dt \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (6-10)$$

该式应用于与 相比很短持续时间的冲击的结果差值很小，如应用于较长时间的冲击与瞬态振动则有时差异很大（最大到 30%）。

最大瞬态振动值 MTVV 定义为：

$$\text{MTVV} = \max[a_w(t_o)] \quad (6-11)$$

也即在测量时间 $a_w(t_o)$ 读数的最高幅值。

建议在测量 MTVV 时取 $\tau = 1s$ ，这相应于声级计中“Slow”的积分时间常数。

（2）四次方振动剂量值方法

该方法通过使用加速度时间过程的四次方代替平方作为平均基础，使得四次方振动剂量方法比基本评价方法对峰值更敏感。四次方振动剂量值（VDV），单位是米每秒 1.75 次方（ $m/s^{1.75}$ ）或弧度每秒 1.75 次方（ $rad/s^{1.75}$ ），定义为：

$$\text{VDV} = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (6-12)$$

式中 $a_w(t)$ 是瞬时频率计权加速度；

T 是测量持续时间。

当振动暴露包括两个以上不同幅度的持续时间时，总暴露的振动剂量应由各个振动剂量值的四次方和的四次方幂来计算：

$$VDV_{\text{总}} = \left(\sum_{\tau} VDV_i^4 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (6-13)$$

经验认为，当使用补充方法且超过以下比例时，将补充评价方法用于评价振动对人体健康或舒适性影响将是重要的。

$$\frac{MTVV}{a_w} = 1.5 \quad (6-14)$$

$$\frac{VDV}{a_w T^{1/4}} = 1.75 \quad (6-15)$$

应该将基本评价方法用于评价振动。在补充方法也使用时，基本评价值和补充评价值都应报告。

4、人体基本中心轴及方向

在 ISO2631-1：1997 中定义的人体基本中心轴及方向如图 6.11 所示。图中表示了平移或直线振动的参考方向 x、y、z；对于旋转振动转轴 r 的 x、y、z 的参考方向，分别围绕称为左右摇摆、前后颠簸和左右旋转的 x、y 和 z 轴旋转。

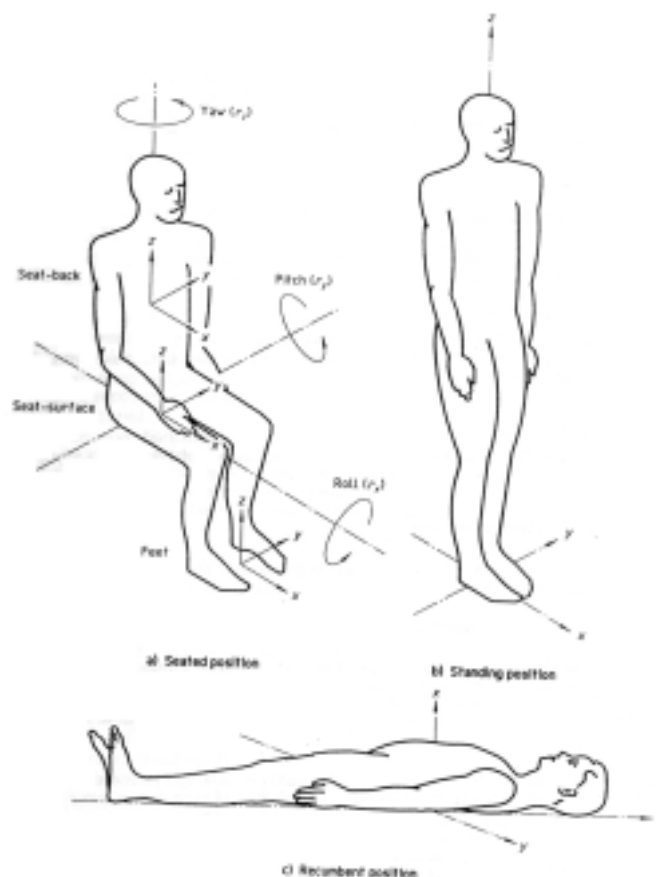


图 6.11 人体基本中心轴

振动应该按照某一点的坐标系统来进行测量，从该点振动进入人体。如果振动传感器不能精确对准推荐的基本中心轴，可以允许传感器的灵敏轴偏离推荐轴最多不超过 15°。对于坐在倾斜座位上的人，

应由人体坐标轴来确定取向， z 轴向不必是垂向。基本中心轴相对于重力场的取向应予说明。在某一测量位置的传感器应正交放置，而且不同轴向的直线加速度计应尽可能靠近。

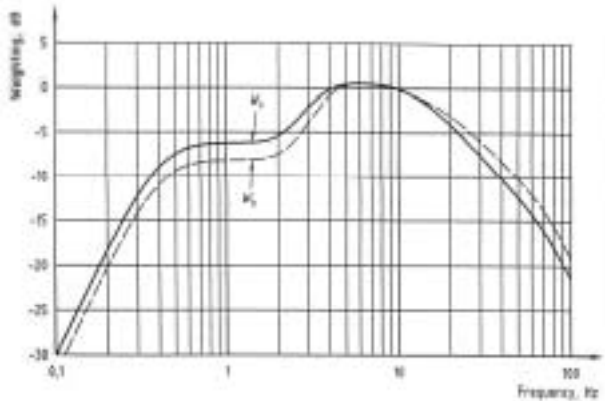
5、振动对健康、舒适性和感觉的影响：在 ISO2639-1：1985 中，为了简化起见，相应于振动对健康、工作熟练度和舒适性的不同影响，其对人的各种影响的暴露时间的依赖关系假设是相同的。实验室研究结果并不支持这一概念，因此予以删除。在新标准的三个附录中提供了振动对健康、舒适性和感觉，以及运动病可能影响的有关信息。但不包括暴露的边界值或限值，而且删除了由于振动暴露的“疲劳—熟练降低”这一概念。

6、ISO2631-4：2001 适用于暴露于沿 x 、 y 和 z 轴的平移振动，以及围绕着这些（人体中心）轴的旋转振动的正常健康人。它只给出了基于运动环境的乘坐舒适性评价指南，并提供了舒适度作为沿着或围绕产生人体运动的轴运动的关系的评价指南。它不适用于可能引起外伤的高振幅单次瞬态振动，也不适用于可能影响健康的高振幅振动。

轨道、车轮、悬挂、车身结构和室内装备（座位和卧铺）都对乘客与乘务员所受振动有影响。当座位和卧铺的舒适性有相当影响时，在座位/人体或卧铺/人体界面处进行测量。对于站着、坐着或躺着的人，总的振动值的评价应在包括表 6.6 中给出的人体界面上进行测量。

表 6.6 人体界面

位置	界面
站着	地板/脚
坐着	座位支撑表面 座位/背部 地板/脚
躺着	支撑骨盆、背和头部的表面



测量的轴向规定为：

Z 轴：垂向，垂直于地面向上（正向）/向下（负向）；图 6.12 W_b 与 W_k 频率计权曲线

X 轴：纵向，沿车辆方向向前（正向）/向后（负向）；

Y 轴：横向，正交于车辆方向；

旋转：围绕 x 轴的旋转运动。

为了进行轨道车辆舒适度的评价的 W_b 计权曲线，已被许多欧洲和某些非欧洲国家所采用。该曲线很接近一般的 W_k 曲线（见图 6.12）。

7、ISO2631-2：1989 建筑物内的振动（1Hz~80Hz）目前还未见新的版本，在 ISO8041 中计权曲线也未作更改，并仍称之为 $W.B.combind$ 。

尽管在新的标准中作了这些大量的改变和改进，大多数的报告或研究都指出老标准 ISO2631-1：1985 中建议的指南和暴露边界值还是预防了非所希望的影响，已经存在的数据资料仍然是非常有用的。

（二）手传振动的测量与评价：ISO5349-1：2001《机械振动—人体暴露于手传振动的测量与评价指南》规定了在三个正交轴手传振动暴露测量与报告的一般要求，定义了频率计权和带限滤波器以使对测

量进行统一比较。获得的结果能够用于预测复盖频带从 8Hz 至 1000Hz 频率范围手传振动的有害影响。适用于周期的和随机的或非同期振动，暂时也适用于重复的冲击类型激励（碰撞）。规定了以频率计权振动加速度（ m/s^2 ）和暴露时间作为手传振动暴露的评价指南，但不规定振动暴露安全限值。

ISO5349-2：2001 则是有关工作场所测量的操作指南。

在工作状态下，手传振动的生物学效应的严重程度受以下因素影响：

- a.振动的频谱；
- b.振动的幅值；
- c.每个工作日的接振时间；
- d.瞬态接振方式及工作方式，即工作与间歇的频次及时间长短；间歇时工具是放下还是拿在手中空转等等；
- e.到调查时的累计接振时间；
- f.通过操作者的手施加给工具或工件的力的大小和方向；
- g.在接触振动时，手臂的姿势及身体的姿势（腕、肘及肩关节的角度）；
- h.振动的机械、手持工具或工件的类型及状况；
- i.手接触振动的部位和面积。

在工作状态下，手传振动的生物学效应的严重程度可能还受以下因素影响：

- a.传递到手的振动的方向；
- b.工作方式及操作者的技术水平；
- c.个人健康的素质性因素。

下列因素可能对手传振动引起的血液循环改变有特别影响：

- a.气候条件；
- b.影响血液循环的疾病；
- c.影响末梢循环的因素，如吸烟、某些药物或工作环境中的某些化学剂。
- d.噪声。

在对手传振动进行测量和评价时，应同时报告上述全部因素及用于振动评价的测量方法和统计技术。

ISO5349-1：2001 修订并替代了 ISO5349：1986，大部分与原版一样，但在技术上有一些重要差异。

1、振动暴露的评价：在以前的版本中，振动暴露的评价是基于具有最大频率计权方均根加速度方向的成分。在现在的版本中，评价是基于振动总值，也就是三个方向频率计权方均根加速度值的方根和，这是考虑到一种动力工具的振动特性并不是由某一方向成份决定的。基于方根和的振动暴露值将大于单方向振动暴露值，三个方向测量得的振动总值通常为最大方向值的 1.2 至 1.5 倍，最大 1.7 倍。对于按 ISO5349：1986 获得的三个轴向值数据可按下式计算振动总值：

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (6-16)$$

式中 a_{hwx} 、 a_{hwy} 和 a_{hwz} 分别是 x、y 和 z 轴的频率计权方均根加速度值。

2、正交坐标系的三个轴向定义如图 6.13 所示。

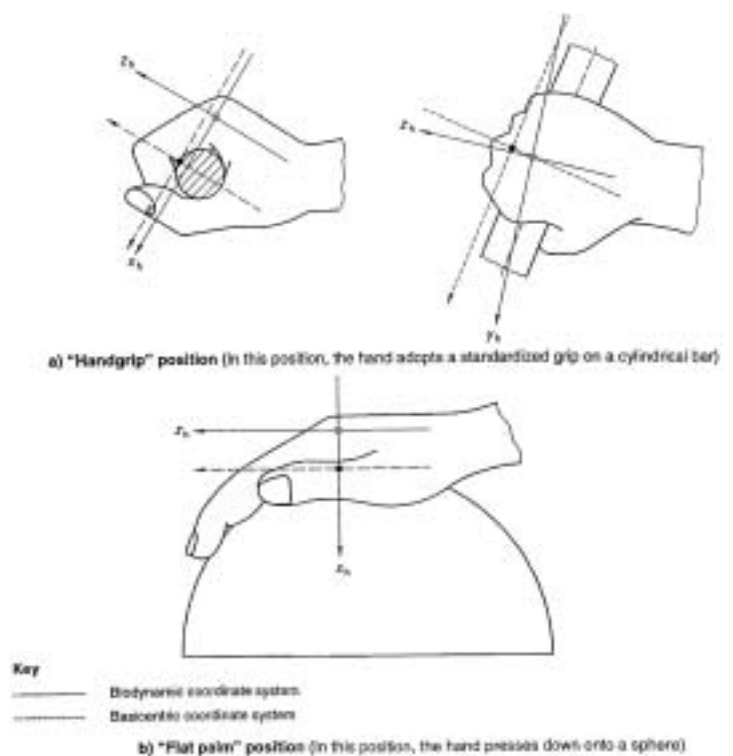
手臂振动的坐标系应当按图 6.13 所示的生物动力学坐标系，报告传向手的振动方向。以第三掌骨头作为坐标原点， Z 轴 (Z_h) 由该骨的纵轴方

向确定。当手处于正常解剖位置时 (手掌朝前)， X 轴垂直于掌面，以离开掌心方向为正向。 Y 轴通过原点并垂直于 X 轴。

如果只提供最大的单轴向计权加速度值，那么可将该值乘以适当的倍乘系数来估算振动总值。

3、频率计权：以前频率计权的形状为频率 16Hz 以下斜率为 0，高于 16Hz 频率每倍频程 -6dB，而且适用倍频带从 8Hz 到 1000Hz 的频率范围。现在的频率计权由数学公式定义为一理论滤波器特性，并称之为 W_h ，带限滤波器截止频率为 6.3Hz 和 1250Hz。

频率计权曲线见图 6.14，频率计权因子见表，这些值与以前版本略有不同，但与 ISO8041：1990 完全相同。



a 紧握姿势 (手以标准握法握住园棒)

b 伸掌姿势 (手朝下压住球面)

图 6.13 手臂振动的坐标系的三个轴向定义

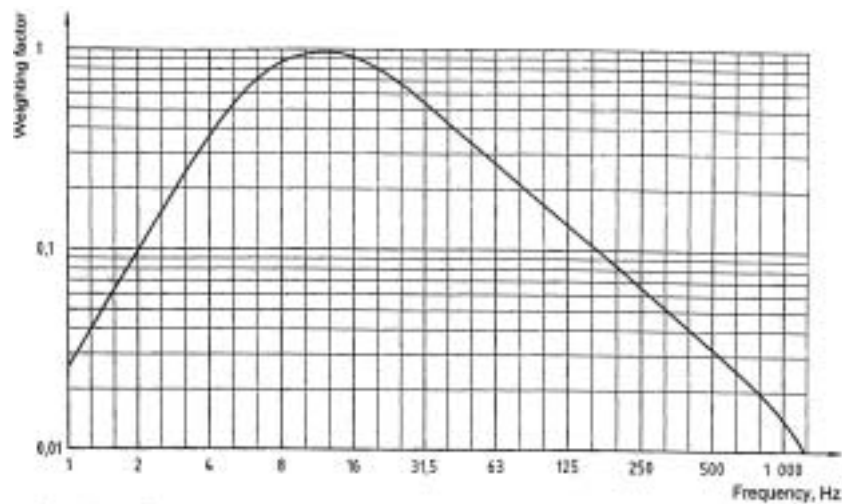


图 6.14

包括带限的手传振动频率计权曲线 W_h

表 6.8 包括带限的手传振动频率计权因子 W_{hi} ，用来将三分之一倍频带幅度变换为频率计权幅度

频带指数 i	标称中间频率 Hz	计权因子 W_{hi}	频带指数 i	标称中间频率 Hz	计权因子 W_{hi}
6	4	0.375	20	100	0.160
7	5	0.545	21	125	0.127
8	6.3	0.727	22	160	0.101
9	8	0.873	23	200	0.0799
10	10	0.951	24	250	0.0634
11	12.5	0.958	25	315	0.0503
12	16	0.896	26	400	0.0398
13	20	0.782	27	500	0.0314
14	25	0.647	28	630	0.0245
15	31.5	0.519	29	800	0.0186
16	40	0.411	30	1000	0.0135
17	50	0.324	31	1250	0.00894
18	63	0.256	32	1600	0.00536
19	80	0.202	33	2000	0.00295
a 滤波器响应及误差见 ISO8041.					
b 频带指数按 IEC61260.					

由三分之一倍频带分析得到的方均根加速度值，可以用来获得相应的频率计权加速度 $a_{h,w}$ 和频率计权加速度级 $L_{h,w}$ （下标h表示手传振动）：

$$a_{h,w} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (W_{hi} \times a_{h,i})^2} \quad (6-17)$$

式中： W_{hi} 是1/3倍频程中第i个频带的计权因子，见表6.7；

a_{hi} 是相应的第i个频带的加速度；

n是所用的频带数。

$$L_{h,w} = 20 \log \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(W_{hi} \times 10^{\frac{L_{h,i}}{20}} \right)^2} \quad (6-18)$$

式中： L_{hi} 是1/3倍频程或倍频程中第i个频带加速度级；

W_{hi} 是第i个频段计权因子。

同样的，手传计权振动加速度和计权振级也可以通过在测量仪器中插入计权网络进行加权（频率滤波）后直接得到。

4、日振动暴露：在 ISO5349-1：2001 中，日振动暴露是基于 8h 等能量加速度值 $a_{hv}(eq, 8h)$ ，简称 A（8），而以前的版本使用 4h 参考时间。采用更常规的 8h 参考时间使得振动暴露的评价与通常在人体暴露于噪声和化学物评价使用的“时间计权平均”程序一致。使用 8h 参考时间仅仅是一种惯例，这并不意指暴露时间就是 8h，而且只要将 4h 等效值乘以 0.7 就很容易得到 8h 的等效值。一般情况下，用下式求得 A（8）：

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (6-19)$$

式中：T 是振动 a_{hv} 总的暴露时间；

T_0 是 8h 参考时间（28000s）。

如果工作中总的振动暴露包含有几个不同振动强度的工作，那么振动暴露 $A(8)$ 应用下式求得：

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad (6-20)$$

5、振动暴露与脉管病变关系：在新版附录C中提供的振动暴露与脉管病变关系的指南（见图6.15），与以前版本附录A中内容相当一致，但是这里限于考虑10%的病变以限制可能不恰当的使用这一关系。与以前版本比较，现在的振动暴露以8h等能量值表示，它等于4h等效值的0.7倍，而且引用的数值又乘以系数1.4，以估价从使用最大单轴向值评价改变到使用振动总值评价导致评价值的增加。在GB/T10434《作业场所局部振动卫生标准》中，则规定 $(a_{h,w})_{eq(4)}$ 不能超过 5m/s^2 。常见振动的计权振级见图6.16。

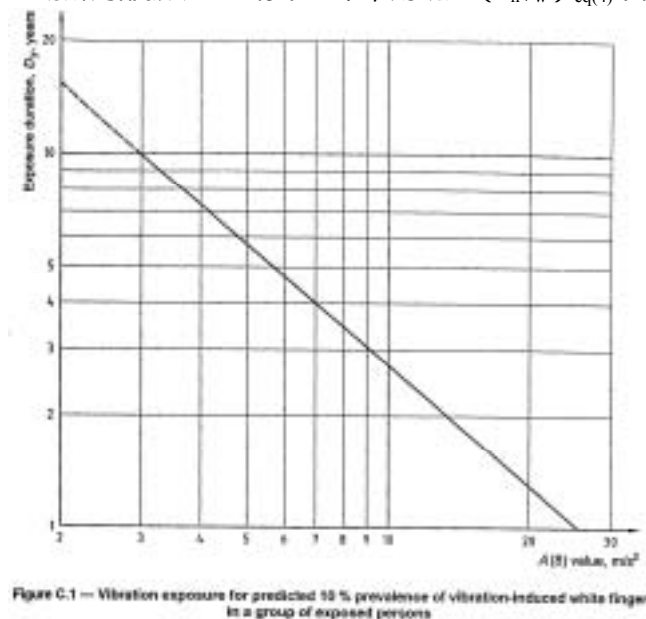


图6.15 在一组暴露人中预期有10%因振动导致白指病变的振动暴露



图6.16 常见振动的计权振级

九、人体响应振动计和环境振级计

测量振动对人体影响的仪器叫人体响应振动计。人体响应振动计是根据振动对人体影响的特点来设计的。国际标准化委员会根据ISO2631和ISO5349标准，制定了用于人体振动测量的仪器标准，即ISO8041-2005《人体对振动的响应——测量仪器》。这种振动测量仪器设计来测量手传振动、全身振动和/或频率范围从0.1Hz至0.5Hz的低频全身振动，并以这些振动中的一个或若干个频率计权测量计权加速度。它至少应显示测量期间的计权方均根加速度、带限方均根加速度、过载和欠量程指示以及测量时间。在新的标准中不再按照准确度将人体响应振动计分为两种类型，统一规定在基准条件下，在参考频率处、在参考级量程及参考振动值处指示值的误差，对手臂和全身振动 $\pm 3\%$ ，对低频全身振动 $\pm 5\%$ 。

人体响应振动计由振动传感器、信号处理机和显示器组成。它可以是一台仪器，也可以是仪器的组合，以及基于采样和分析系统的计算机。它的基本组成方框图见图6.17。

人体响应振动计由振动传感器、信号处理器和显示器组成，见图6.17 a。

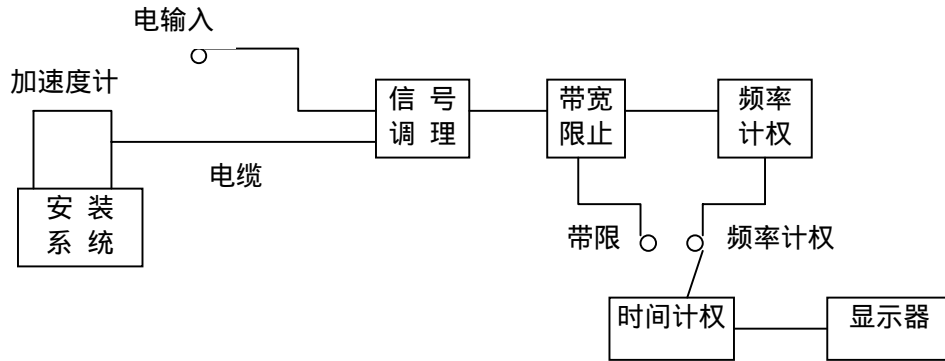


图6.17 a 基于时域信号处理的振动测量仪或测量系统的基本功能路径输出的示意图

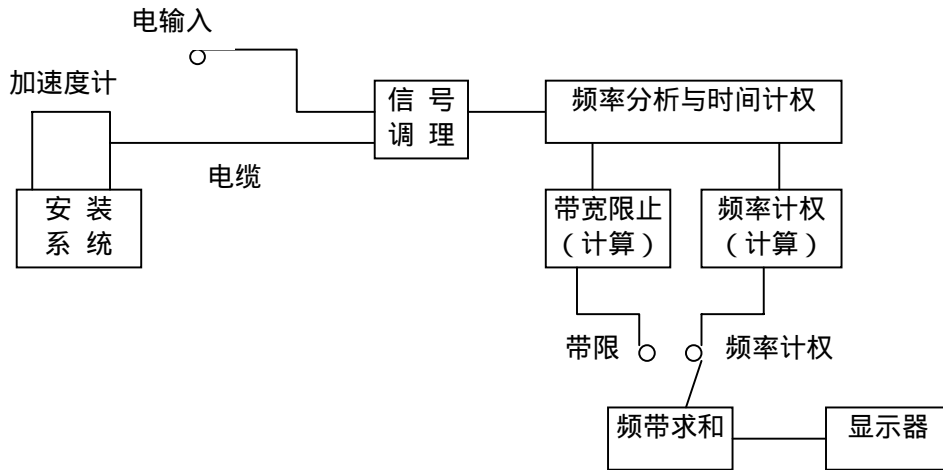


图6.17 b 基于频域信号处理的振动测量仪或测量系统的基本功能路径输出的示意图

加速度计通常采用压电加速度计。为了测量三个方向的全身振动，配有座垫式三轴向加速度计。为了测量手传振动，使用三轴向加速度计或三只微型加速度计。振动传感器的横向灵敏度比应小于5%。人体响应振动计具有三个轴向输入端。灵敏度可分别设定，通过手控开关或自动控制分别或同时测量三个轴向的计权加速度。

信号频率限止电路由高通和低通滤波器组成，它使振级测量的频率范围限制在表6.11所规定的范围内，例如将全身振动限制在0.5Hz～80Hz，手传振动限制在8Hz～1000Hz，以避免频率范围以外信号的干扰和影响。

通过数据处理单元可计算并显示三轴向计权加速度及它们的矢量和、运行加速度级、最大瞬态振动值（MTVV）、运动病剂量值（MSDV）、振动剂量值（VDV）、等效连续振级，或手传振动的等效暴露等等。

人体响应振动计的参考频率和参考振动值见表6.8。

表6.8 参考频率和振动值

应用	频率计权	标称频率 范围/Hz	参考		参考频率处 计权因子	参考频率处 计权加速度 值 (m/s^2)
			频率	方均根值 (m/s^2)		
手传振动	W_h	8 ~ 1000	500rad/s (79.58Hz)	10	0.202	2.02
全身振动	W_b	0.5 ~ 80	100rad/s (7.958Hz)	1.0	0.79	0.79
	W_c	0.5 ~ 80			0.51	0.51
	W_d	0.5 ~ 80			0.126	0.126
	W_e	0.5 ~ 80			0.063	0.063
	W_f	0.5 ~ 80			1.02	1.02
	W_k	0.5 ~ 80			0.77	0.77
	W.B.Combined	1 ~ 80			0.34	0.34
低频全身振 动	W_j	0.1 ~ 0.5	2.5rad/s (0.3979Hz)	0.1	0.39	0.039

表6.9 频率计权的参数和传递函数

计权	带限		a-v转换			往更高过渡				C
	$f_1(\text{Hz})$	$f_2(\text{Hz})$	$f_3(\text{Hz})$	$f_4(\text{Hz})$	Q_4	$f_5(\text{Hz})$	Q_5	$f_6(\text{Hz})$	Q_6	
W_b	0.4	100	16	16	0.55	2.5	0.9	4	0.95	1.024
W_c	0.4	100	8	8	0.63		-		-	-
W_d	0.4	100	2	2	0.63		-		-	-
W_e	0.4	100	1	1	0.63		-		-	-
W_f	0.08	0.63		0.25	0.86	0.0625	0.80	0.10	0.80	-
W_j	0.4	100			-	3.75	0.91	5.32	0.91	-
W_h	6.31	1258.93	15.915	15.915	0.64		-		-	-
W_k	0.4	100	12.5	12.5	0.63	2.37	0.91	3.35	0.91	-
W.B.combined	0.79	100	-	5.684	-		-		-	-

人体响应振动计至少应具备表6.8所列的一种或几种频率计权，包括带限计权。表6.9中列出了频率计权的参数和传递函数。频率 f_1, \dots, f_6 (f_1, \dots, f_6 这里 $f_i = f_{i-1}$) 和品质因数 Q_4, \dots, Q_6 是确定整个频率计权传递函数的参数（参考作为输入量的加速度），传递函数表达为几个因子的乘积。

a) 带限

带限元素是高通和低通二阶巴特沃斯滤波器特性的组合。

1) 高通 :

$$H_h(p) = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{2}\omega_1}{p} + \left(\frac{\omega_1}{p}\right)^2} \quad (6-21)$$

2) 低通 :

$$H_l(p) = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{2}p}{\omega_2} + \left(\frac{p}{\omega_2}\right)^2} \quad (6-22)$$

b) a-v转换 (低频时正比于加速度, 高频时正比于速度):

$$H_t(p) = \frac{1 + \frac{p}{\omega_3}}{1 + \frac{p}{Q_4\omega_4} + \left(\frac{p}{\omega_4}\right)^2} \quad (6-23)$$

c) 往更高过渡 (下降速度约每倍频程6dB):

$$H_s(p) = \frac{1 + \frac{p}{Q_5\omega_5} + \left(\frac{p}{\omega_5}\right)^2}{1 + \frac{p}{Q_6\omega_6} + \left(\frac{p}{\omega_6}\right)^2} \left(\frac{\omega_5}{\omega_6}\right)^2 \quad (6-24)$$

乘积 $H_h(p)H_l(p)$ 表达带限传递函数, 除 W_t 外所有频率计权都是一样的。

乘积 $H_t(p)H_s(p)$ 表达某些应用的计权传递函数。

对 W_j 频率计权, $H_t(p)=1$; 对 W_c 、 W_d 、和 W_e 频率计权, $H_s(p)=1$ 。这由表中无限远频率和品质因数所表明。

总的计权传递函数是带限传递函数计权和传递函数的组合, 即:

$$H(p) = H_h(p) \times H_l(p) \times H_t(p) \times H_s(p) \quad (6-25)$$

对 W_b (仅仅 W_b) 计权 $H(p)$ 必须除以表6.9中给出的常数C。

上式(在频域中)描述了以虚部角频率 $p=j2\pi f$ 的复数形式的模(幅度)和相位。

表6.19 振动频率计权特性

dB

x	标称 频率 (Hz)*	W _b	W _c	W _d	W _e	W _f	W _j	W _h	W _k	W.B. Combined
-17	0.02					-32.37				
-16	0.025					-28.4				
-15	0.0315					-24.41				
-14	0.04					-20.34				
-13	0.05					-16.06				
-12	0.063					-11.45				
-11	0.08					-6.86				
-10	0.1	-32.27	-24.10	24.09	-24.08	-3.16	-30.18		-30.11	-36.00
-9	0.125	-28.29	-20.12	-20.12	-20.09	-0.92	-26.20		-26.14	-32.00
-8	0.16	-24.36	-16.19	-16.18	-16.14	0.04	-22.27		-22.21	-28.01
-7	0.2	-20.52	-12.34	-12.32	-12.27	-0.06	-18.42		-18.37	-24.02
-6	0.25	-16.89	-8.71	-8.68	-8.60	-1.41	-14.79		-14.74	-20.05
-5	0.315	-13.71	-5.51	-5.47	-5.36	-4.22	-11.60		-11.55	-16.12
-4	0.4	-11.26	-3.05	-2.98	-2.86	-8.22	-9.15		-9.11	-12.29
-3	0.5	-9.71	-1.47	-1.37	-1.27	-13.05	-7.58		-7.56	-8.67
-2	0.63	-8.92	-0.64	-0.50	-0.55	-18.73	-6.77		-6.77	-5.51
-1	0.8	-8.59	-0.25	-0.08	-0.52	-25.30	-6.42	-36.00	-6.44	-3.09
0	1	-8.49	-0.08	0.10	-1.11	-32.57	-6.30	-31.99	-6.33	-1.59
1	1.25	-8.47	0.00	0.06	-2.29	-40.26	-6.28	-27.99	-6.29	-0.85
2	1.6	-8.35	0.06	-0.26	-3.91	-48.14	-6.32	-23.99	-6.13	-0.59
3	2	-7.81	0.10	-1.00	-5.80	-56.11	-6.34	-20.01	-5.50	-0.61
4	2.5	-6.30	0.15	-2.23	-7.81	-64.10	-6.22	-16.05	-3.97	-0.82
5	3.15	-3.75	0.19	-3.88	-9.85	-72.10	-5.60	-12.18	-1.86	-1.19
6	4	-1.27	0.21	-5.78	-11.89	-80.10	-4.08	-8.51	-0.31	-1.74
7	5	0.02	0.11	-7.78	-13.93		-1.99	-5.27	0.33	-2.50
8	6.3	0.25	-0.23	-9.83	-15.95		0.47	-2.77	0.46	-3.49
9	8	0.02	-0.97	-11.87	-17.97		0.14	-1.18	0.32	-4.70
10	10	-0.43	-2.20	13.91	-19.97		0.26	-0.43	-0.10	-6.12
11	12.5	-1.08	-3.48	-15.93	-21.99		0.22	-0.38	-0.93	-7.71
12	16	-1.99	-5.74	-17.95	-23.99		0.16	-0.96	-2.22	-9.44
13	20	-3.20	-7.75	-19.97	-26.00		0.10	-2.14	-3.91	-11.25
14	25	-4.68	-9.80	-21.98	-28.01		0.06	-3.78	-5.84	-13.14
15	31.5	-6.39	-11.87	-24.01	-30.04		0.00	-5.69	-7.89	-15.09
16	40	-8.27	-13.97	-26.08	-32.11		-0.08	-7.72	-10.01	-17.10
17	50	-10.33	-16.15	-28.24	-34.26		-0.25	-9.78	-12.21	-19.23
18	63	-12.64	-18.55	-30.62	-36.64		-0.63	-11.83	-14.62	-21.58
19	80	-15.42	-21.37	-33.43	-39.46		-1.45	-13.88	-17.47	-24.38
20	100	-18.96						-15.91		-27.93
21	125	-23.39						17.93		-32.37
22	160	-28.57	-24.94	-36.99	-43.01		-3.01	-19.94	-21.04	-37.55
23	200	-34.19	-29.39	-41.43	-47.46		-5.45	-21.95	-25.50	-43.18
24	250	-40.03	-34.57	46.62	-52.64		-8.64	-23.96	-30.69	-49.02
25	315	-45.96	-40.20	-52.24	-58.27		-12.26	-25.98	-36.32	-54.95
26	400	-51.94	-46.04	-58.09	-64.11		-16.11	-28.00	-42.16	-60.92
27	500		-51.98	-64.02	-70.04		-20.04	-30.07	-48.10	-66.91
28	630		-57.95	-70.00	-76.02		-24.02	-32.23	-54.08	-72.91
29	800							-34.60		-78.91
30	1000							37.42		
32	1250							-40.97		
33	1600							-45.42		
34	2000							-50.60		
35	2500							-56.23		
36	3150							-62.07		
37	4000							-68.01		
38	5000							-73.98		
39	6300							-79.97		
40	8000							-85.97		
41	10000							-91.97		

*准确频率由公式 $f_c(x) = 10^{x/10}$ 求得，x是频带指数。

频率计权滤波器可以通过频域或时域来实现：

1、频域

通过方均根频谱成份 a_i 的计权平方再求和，任何形式的频率分析，模拟的或数字的、实时的、三分之一倍频程或FFT都可以用来产生计权方均根加速度值。

$$a_w = \left[\sum_i (w_i a_i)^2 \right]^{1/2} \quad \text{m/s}^2 \quad (6-26)$$

(1) 三分之一倍频带分析

三分之一倍频带的中心频率应如表6.19所述，三分之一倍频带范围至少比标称频率范围高一个倍频程及低一个倍频程。在按(6-26)式平方和求和前，加速度值应乘以表6.19给出的频率计权因子。这一程序也用来排序三分之一倍频程谱以形成运行方均根加速度值。假如MTVV是从按这一方法获得加速度值排序而获得的值，那么频谱应以不大于所用时间常数1/4的时间间隔采集得到。

(2) 快速付利叶变换 (FFT) (6-26) 从FFT方均根频谱成分获得，或者使用公式(6-27)从功率谱密度 (PSD) 成分获得。可是，必须用(6-21)~(6-25)公式得到的计权因子，而不是表6.19给出的。

$$a_w = \left[\sum_i (w_i)^2 PSD_i \Delta f \right]^{1/2} \quad \text{m/s}^2 \quad (6-27)$$

PSD谱应被用于无规信号， Δf 表示频率分辨率，而功率谱更适合于正弦信号。在功率谱求和过程中，应考虑由于时间窗引起的频谱重迭。

FFT频率分辨率必须小于标称频率范围最低频率的40%，推荐20%。采样频率至少是标称频率范围最高频率的5倍。应该选择适合于输入信号类型的适当的时间窗函数。例如，汉明窗可用于无规信号，平顶 (flat-top)窗适用于正弦加速度为主的信号。平均应使最佳使用任何可能的重迭。

2、时域

有关人体响应加速度信号的评价包括使用规定的滤波器进行频率计权。对于固定信号，可在时间历程方均根平均前，或者在方均根平均频谱计算后进行频率计权。得到相同的结果。非固定的加速度信号通常使用规定的时间常数（积分时间）和运行方均根算法，对它们的最大值进行扫描。在这种情况下，必须在积分以前对时间历程进行频率计权，因为如定义，查找的是计权加速度的最大值。许多分析系统是基于计算机处理采样的时间数据。在时域中采用数字滤波器而不采用模拟滤波器，因为后者成本高而且笨重，尤其是在多通道系统中。

(1) 从频域到时域滤波器的变换

拉普拉斯变换适合于频域中模拟滤波器设计，Z变换常常用于用软件实现数字滤波器。数字滤波器的传递函数由它的Z变换 $H(z)$ 来表示。在z域，从数字滤波器输出的变换 $Y(z)$ 与输入信号的变换 $X(z)$ 的关系由以下乘积给出：

$$Y(z) = H(z) X(z) \quad (6-28)$$

$H(z)$ 可表达为：

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^M b_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^N a_i z^{-i}} \quad (6-29)$$

这里 a_i 和 b_i 是常数； M 和 N 分别是零点和极点数；以时间域表达的公式为：

$$Y(t_i) = \sum_{k=0}^M b_k x(t_i - k) - \sum_{j=1}^N a_j y(t_i - j) \quad (6-30)$$

式中 $x(t_i)$ 和 $y(t_i)$ 分别是在时间 t_i 时采样的输入和输出信号。

(2) 滤波器系数的计算

滤波器系数 a_i 和 b_i 可以通过复线性转换方法或脉冲恒定方法[T.W.Parks and C.S.Burns, “Digital filter design”, John Wiley&Sons Inc., New York, NY, 1987]。

复线性变换方法最适合于标准中5.6条巴特沃斯高通与低通滤波器。2极滤波器的 Z 变换可由标准5.6条中传递函数的拉普拉斯公式代入拉普拉斯变量 s 得到：

$$s = \frac{2\pi f_c}{\tan(\pi f_c T_s)} \frac{z-1}{z+1} \quad (6-31)$$

这里 f_c 是截止频率， T_s 是采样间隔。类似的近似或脉冲恒定方法可用于滤波器作为 $a-v$ 变换（低频时正比于加速度，高频时正比于速度）和升高一级（下降速度每倍频程约16dB）。

人体响应振动计在整个线性工作范围内，在参考频率处的级线性误差应不大于5%。在参考级量程和参考频率处，线性工作范围对手传振动至少为70dB，对全身振动至少为60dB。当振动传感器放在一不振动的台面上时，指示值应小于规定线性工作范围下限的20%。

对于测量时间计权振级的人体响应振动计，时间常数可为0.125s、1s或8s。

人体响应振动计主要用于劳动卫生、职业病防治等部门用于研究分析振动对人体的危害。另一种用于测量和评价环境振动的仪器称为环境振级计（如AWA6256B型环境振动分析仪）。根据国家标准GB/T10071-1988《城市区域环境振动测量方法》规定，环境振级计性能必须符合ISO8041标准有关要求。由于环境振动振级和频率都较低，因此选用高灵敏低频压电加速度计，它内部通常带有前置放大器，起阻抗变换和划一增益输出作用，而且可以接较长电缆线。由于环境振动只要测量全身垂向振级 V_{Lz} ，因此它只需单轴向拾振器，将它垂向安放于地面，频率计权也只需具有全身垂直计权特性。有些仪器也具有全身水平计权特性，这时将拾振器水平放置就可测量水平方向振级 V_{Lx-y} 。另外仪器也可有平直频率响应以测量非计权加速度。环境振动测量仪器已普遍实现智能化，它们内置有单片计算机对测量数据进行采集、计算、处理，可直接测量并显示瞬时振级 V_{Lp} 、等效连续振级 V_{Leq} 、统计振级 V_{LN} （ $N=5、10、50、90、95$ ）及均方偏差 SD 等。还可以进行24h测量，每遇整点测量一次，每次测量时间可设定。测量结果既可以通过微型打印机打印出来，也可以储存在机内供日后打印或送微机进一步处理、打印、存盘。

十、我国环境振动标准（GB10070-1988）

我国制定的城市区域环境振动标准采用铅垂向z振级作为环境振动的评价量，它相应于表6.11及图6.14中“全身，z：称为W.B.z”计权振级。采用铅垂向z振级这一点与日本采用的评价量是一致的（但日本采用的振级的参考加速度为 10^{-5}m/s^2 ）。这是因为如前所述，环境振动的影响和干扰主要由地面铅垂向振动所引起，另外，环境振动的频率成分一般在8Hz以上，这样铅垂向Z振级要比水平x-y方向振级高9dB左右。采用铅垂向z振级既可以反映振动环境，又使得测量方法简单易行。

实际遇到的环境振动往往不是一个连续的稳定振动，而是起伏的或不连续的振动，对于这种振动，可以根据等能量原理用等效连续振级 VL_{Weq} 来表示：

$$VL_{Weq} = 10\lg\left\{\frac{1}{T}\int_0^T \frac{[a_w(t)]^2}{a_0^2} dt\right\}$$
$$= 10\lg\left(\frac{1}{T}\int_0^T 10^{0.1VL_w} dt\right) \quad (6-32)$$

式中： $a_w(t)$ 为计权加速度值；

VL_w 为计权加速度级或计权振级；

$a_0=10^{-6}\text{m/s}^2$ 。

由于环境振动，如交通振动，往往呈现不规则且大幅度变动的情况，因此往往需要用统计的方法，用不同的振级出现的概率或累积概率来表示。通常测量或计算累计百分z振级 VL_{ZN} ，它定义为在规定的测量时间T内，有N%时间的z振级超过某一 VL_z 值，这个 VL_z 值就叫做累计百分振级 VL_{ZN} ，单位为dB。常用的有 VL_{Z10} 、 VL_{Z50} 和 VL_{Z90} ，分别表示有10%时间的z振级超过 VL_{Z10} ，有50%时间的z振级超过 VL_{Z50} ，有90%时间的z振级超过 VL_{Z90} 。

我国城市区域环境振动标准（GB10070-88）是根据居民的反应，我国环境振动现状及今后标准执行的可行性，给出了城市区域室内振动标准值。标准中规定的城市各类区域铅垂向z振级标准值列于表6.11中。

表6.11 城市区域环境振动标准值（dB）

适用地带范围	昼间	夜间
特殊住宅区	65	65
居民、文教区	70	67
混合区、商业中心区	75	72
工业集中区	75	72
交通干线道路两侧	75	72
铁路干线两侧	80	80

表中所列标准值适用于连续发生的稳态振级、冲击振动和无规振动。对于每日发生几次的冲击振动，其最大值昼间不允许超过标准值10dB，夜间不超过3dB。

“特殊住宅区”是指特别需要安宁的住宅区。“居民、文教区”是指纯居民区和文教、机关区。考虑到以上区域对环境质量要求较高及今后达标的可行性，规定居民、文教区中居住室内铅垂向 z 振级标准值昼间为70dB，夜间67dB，特殊住宅区昼间和夜间都为65dB。当 z 振级低于70dB时，振动基本上已不成为干扰居民日常生活的因素。

“混合区”是指一般商业区与居民混合区，工业、商业、少量交通与居民混合区。根据在混合区中进行调查的结果，并参考国外有关标准，混合区中居住室内昼间铅垂向 z 振级标准值定为75dB。为保证夜间居民的睡眠及休息，夜间标准定为比昼间低3dB，即为72dB。

“商业中心区”是指商业集中的繁华地区。商业中心区振源较少，主要是服务性行业中的工业设备及交通，振动影响不大，因而标准值与混合区相同。

“工业集中区”是指在一个城市或区域内规划明确确定的工业区。工业集中区虽然振源较多，但由于厂区范围大，振源距居民较远，其影响一般是有限的，所以它的标准值定为与混合区相同。

“交通干线道路两侧”是指车流量每小时100辆以上的道路两侧。根据对我国几个城市现场测量资料表明，交通振动对居民的影响和干扰不很严重，重型车（如大卡车等）经过时，在道路两侧测得铅垂向 z 振级为70~80dB；小轿车、小面包车行驶时为60~70dB；其它车辆为65~75dB。考虑多种因素后，交通干线道路两侧居民室内铅垂向 z 振级标准值定为与混合区相同。

“铁路干线两侧”是指距每日车流量不少于20列的铁道外轨80m外两侧的住宅区。由于铁路运行情况白天和夜间差不多，故昼间与夜间振级标准都定为80dB。

十一、环境振动测量方法（GB/T10071-1988）

1、测量的量：铅垂向 z 振级（VL $_z$ ）

2、测量仪器：环境振级计或环境振动分析仪，性能符合ISO8041标准，时间常数1s。

3、测点位置：置于各类区建筑物室外0.5m以内振动敏感处，必要时可置于建筑物室内地面中央。

4、拾振器安装：拾振器平稳地安放在平坦、坚实的地面上，避免置于如地毯、草地、砂地或雪地等松软的地面上。拾振器的灵敏度主轴方向应与测量方向一致。

5、读数方法和评价量

1) 稳态振动：每个测点测量1次，取5s内的平均示数作为评价量。

2) 冲击振动：取每次冲击过程中的最大示数为评价量。对于重复出现的冲击振动，以10次读数的算术平均值为评价量。

3) 无规振动：以VL $_{Z10}$ 值作为评价量。

4) 铁路振动：读取每次列车通过过程中的最大示数，每个测点连续测量20次列车，以20次读数值的算术平均值为评价量。

第七章 噪声和振动监测仪器的选用和维护

一、环境噪声和环境振动监测仪器的选用

为了保障城市居民的生活声环境质量，有效地防治环境噪声污染，国家环保局先后制订并发布了GB3096-82《城市区域环境噪声标准》（现已修订为GB3096-93《城市区域环境噪声标准》）、GB12348-90《工业企业厂界噪声标准》、GB12523-90《建筑施工场界噪声限值》及GB12525-90《铁路边界噪声限值及其测量方法》。这些标准都用等效连续A声级 L_{eq} 值作为环境噪声的主要评价量，该评价量十多年来在我国城市环境噪声管理、监测与评价的应用中充分显示了其优越性，而且国际标准及一些先进国家都采用等效连续A声级作为环境噪声的评价量。

为了执行以上标准，国家环保局又陆续发布了GB/T14623-93《城市区域环境噪声测量方法》、GB12349-90《工业企业厂界噪声测量方法》、GB12524-90《建筑施工场界噪声测量方法》。与过去的标准不同，这些标准都规定只能用积分声级计和环境噪声自动监测仪器作为测量仪器，而不能用一般声级计（指针式或数字指示）以人工读数方法进行测量。这主要是基于以上仪器进行测量可以大大减少人为读数误差和数据处理工作量，测量快速又准确。现在有的县级环境监测站或厂矿企事业单位环保部门仍在购买或使用一般声级计，每隔5秒读一个数，连续读100-200个数，再计算等效连续声级，这显然是很不恰当的了，而且国家环保局环控声[1996]091号文明确指出：人工读数的声级计不得再使用。

我国自80年代中期开始生产积分声级计和噪声自动监测仪器，并装备环境监测部门。近几年来，我公司陆续推出几种功能好、体积小、价格低、使用方便的积分声级计和环境噪声自动监测仪器，可以完全满足以上标准的要求，从而为以上标准的执行提供了切实可行的保证。这些仪器都受到国内广大用户的普遍欢迎与好评。

在实际选用仪器时，仪器精度有1级和2级的区分。在环境噪声测量中规定使用2级或1级仪器，它们在基准条件下、在参考频率处、参考量程和参考声压级上，它的固有误差分别为1.0 dB和0.7dB。但是，综合其它因素，1级仪器的测量误差比2级仪器小得多，尤其是它的工作温度范围规定为-10 ~+50℃，而2级仪器一般0 ~40℃。总的来说，1级仪器各方面性能指标都要比2级仪器好得多。虽然从价格上讲，2级仪器则要比1级便宜一些。但是如果选用1级仪器，无疑会使你的测量工作更加准确、更加得心应手。这也是为什么国外知名厂家现在已经不再生产2级仪器的原因。

仪器功能也不是越全越好，而是根据实际需要和测量对象来选择。例如，环境噪声监测一般不作频谱分析，因此没有必要选用带滤波器的噪声频谱分析仪。日常噪声监测和排污收费监测，以及测量厂界噪声、铁路边界噪声、建筑施工场界噪声，使用具有测量等效连续A声级 L_{eq} 功能的积分声级计已经完全满足要求，这种声级计不仅价格便宜，而且操作简单，读数直观，工作可靠、携带方便。我公司研制生产的AWA5610系列积分声级计已装备全国各地许多部门，上至环保局长、下至街道环保员、交通警察都使用该仪器。有不少工厂企事业单位的环保部门也购买了此仪器，并能完全满足他们的测试要求。

但是如果要进行环境噪声普查和研究分析，如各级环境监测站，则需选用功能比较齐全的噪声统计分析仪，如我所研制生产的AWA6218系列噪声统计分析仪。它不仅能测量等效连续A声级 $L_{A\cdot eq}$ ，而且能

测量并显示 L_{\max} 、 L_{\min} 、 L_5 、 L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} 、 L_{95} 、SD、T等，而且能进行24h连续监测，测量出每小时的 $L_{A\cdot eq}$ 。通过随机的打印机，在现场就可打印出以上测量数据，画出噪声的统计分布图、累计分布图或24h分布图以及昼间等效声级 L_d ，夜间等效声级 L_n 和昼夜等效声级 L_{dn} 。它本身带有存储功能，可一次储存高达120组(或495组)测试分析数据或24h连续监测数据，储存数据可任意调阅。这样在测试现场只要带去主机，测试完后回到办公室将主机连到打印机进行打印。另外也可将主机连到计算机进行显示、打印或存储，并可直接进入数据库。如果您不需要现场打印，办公室又有微机，也可以不订购微型打印机。AWA6218系列噪声统计分析仪已被全国所有省、自治区和直辖市使用，普遍反映很好。其中AWA6218B型噪声统计分析仪从外形到性能都作了重大改进，功能大大增强，使用仍很方便，成为目前国内环境噪声监测的主导产品。

近年来，国内许多城市新建或扩建机场，机场噪声已引起人们严重关注，并要进行测量。根据国家标准GB9661-88《机场周围飞机噪声测量方法》规定了两种测量方法：一种是精密测量--需要作为时间函数的频谱分析的测量，它需要声级计、录音机、1/3倍频程谱分析仪等设备或实时数字信号处理机及相应软件，设备费用相当高昂。另一种是简易方法--只需经频率计权的测量，频率计权可用D计权（加7dB），也可用A计权（加13dB），便于推广。AWA6218A型噪声统计分析仪内部具有机场噪声测量软件，可直接测量出 L_{\max} 、Td并直接计算出有效感觉噪声级 L_{EPN} ，使测量变得简单快捷。南京市环境监测中心站、上海市环境监测中心站和浙江省环境监测中心站已用该仪器测量南京禄口机场、上海浦东机场和杭州萧山国际机场的噪声，取得了较好效果。AWA6270+C型噪声分析仪等也可用于机场噪声测量。

有的城市为了提高人们防治噪声污染的意识，准备在城市街道两侧或噪声达标区竖立大屏幕显示屏，则可选用我公司的AWA5620型（显示瞬时声级）或AWA5621型（同时显示瞬时声级和等效声级）噪声显示屏，它们都既可做成单面的，也可做成双面的、三面的、四面的。在舞厅、卡拉OK厅等室内公共场所监测噪声，可选用我公司AWA5622型噪声显示屏。

在噪声监测中，有时也会遇到环境振动，如邻近机器、铁道及交通干线两旁的房屋内，环境振动会产生扰民，影响人们的工作、学习或休息。为此国家环保局制定了GB10070-88《城市区域环境振动标准》和GB10071-88《城市区域环境振动测量方法》。环境振动的主要评价量为全身垂向计权振级 V_{Lz} ，单位分贝（dB，以 $10^{-6}m/s^2$ 为基准）。由于当时测量仪器的限制，因此标准中仍按人工读数方式编写，但现在利用我公司研制生产的AWA6256B型环境振动分析仪则完全可以对此实现自动、快速、准确测量。它还具有全身水平计权及线性，可以测量水平方向振动，其功能及特点与AWA6218B类似。据了解，该标准将要修订，并要求用积分振动计或自动测量仪器进行测量，而且环境振动的监测将会全面推开，排污收费等也会制定标准，因此选购AWA6256B型环境振动分析仪将是您明智的选择。

二、劳动卫生和职业病防治部门如何选用噪声和振动测试仪器

噪声和振动不仅影响人们的工作、学习、休息，也会直接影响人的身体健康。长期在噪声环境下工作，可能导致人耳听力损伤（耳聋）以及其它疾病。长期使用手持振动工具（如风镐、油锯、电钻等）

进行作业，可能使人的手指丧失活动能力，严重的导致白指病。长期暴露在全身振动环境中，例如汽车、火车、拖拉机驾驶员，振动机器的操作工等，可能引起人体不舒适，疲劳，严重的会引起肠胃、脊柱、腰柱等多种疾病。所以在劳动卫生和职业病防治部门进行噪声和振动测量是很有必要的。

卫生部为了加强工业企业职工的听力保护工作，有效地预防、控制和逐步消除工作噪声对职工健康的影响，促进工业企业加强自身管理，保障社会主义市场经济健康发展，于1999年颁布了《工业企业职工听力保护规范》（卫法监发[1999]第620号）。规范规定各类工业企业噪声作业场所，凡有职工每天工作8小时，暴露于等效声级大于等于85分贝的企业，都应当执行该规范。规范所称听力保护包括噪声监测、听力测试与评定、工程控制措施、护耳器的要求及使用、职工培训及记录保存等方面内容。

考虑到国内大多数企业的现状，许多企业即使是新建企业都达不到8小时85dB标准的要求。因此在1985年颁布的GBJ87-85《工业企业噪声控制设计规范》中，明确生产车间及作业场所允许标准按8h、90dB，即采用了《工业企业噪声卫生标准》中对老企业的规定。其噪声暴露量则为 $3.2\text{Pa}^2\cdot\text{h}$ 。为了更直观的衡量噪声是否超过允许标准，通常采用噪声剂量DI的百分数来表示。并将 $\text{DI}=100\%$ 作为允许标准，那么就以8h，90dB作为 $\text{DI}=100\%$ 。噪声剂量超过100%就说明超过允许标准，低于100%，就没有超过允许标准。

由于车间及其它工作场所，不仅车间内各处噪声不会相同，在每一点也不是随时间噪声级一直不变的。也就是说，不管是空间分布或是时间分布，噪声都不一定是稳态的。因此一般情况应使用积分声级计来测量等效连续A声级 Leq ，可以选择AWA5610系列积分声级计。积分声级计还能测量出最大声级 Lmax ，以检查有没有超过最大允许声级115dB(A)。

另外，工人每天接触噪声的时间也不一定是8小时，这样即使测得了 Leq 后，也还不能立即确定噪声有没有超过允许标准。利用AWA5610系列积分声级计，还可以同时测量出噪声暴露量E和噪声剂量DI的百分数。因此对于劳动卫生和职业病防治部门以及工矿企业的安技部门选用AWA5610系列积分声级计来测量噪声是很合适的。同时它们还可以用来测量环境噪声。如作为个人佩戴可选用我公司的AWA5610E型个人声暴露计。

手传振动和全身振动的测量应使用人体响应振动计，并在三个正交坐标方向进行测量。显而易见，手传振动及全身振动均不能使用声级计加振动测量附件来进行测量。利用AWA6290A型多信道噪声振动分析仪，配用适当的三轴向加速度计或座垫式加速度计以及相应测量软件包，可以用于全身振动和手臂振动的测量和评价。

三、机器、车辆、船舶等噪声和振动测量仪器的选用

机器噪声的测量现在已普遍使用测量声功率级，测量声功率级有精密方法、工程方法和简易（普查）方法。精密方法和工程方法要求使用1型声级计和1/3倍频程或1/1倍频程滤波器，可选用AWA6270系列噪声频谱分析仪或AWA6290A型多信道噪声振动分析仪。简易方法则只需要使用2型声级计，如AWA5633系列声级计。

车辆噪声测量的最基本方法是GB1496-1979《机动车辆测量方法》，规定车外噪声测量使用2型声级计，

测量车辆行驶中的最大声级,使用AWA5633系列声级计即可满足要求。车内噪声测量要求使用1型声级计及倍频程滤波器。轨道车辆和船舶噪声测量也要求使用1型声级计及倍频程或1/3倍频程滤波器。

对于在道路上行驶的各类型的机动车辆在定置时噪声的测量,按GB/T14365-93《声学 机动车辆定置噪声测量方法》(参照采用ISO5130-1982),采用1型或2型声级计测量A声级。所谓定置是指车辆不行驶,发动机处于空载运转状态。定置噪声测量可评价检查机动车辆的主要噪声源--排气噪声和发动机噪声水平。

机器振动一般都选用振动烈度作为评价量,它是10Hz--1000Hz频率范围内振动速度有效值,为此,可选用AWA5933型振动计来进行测量,它由电池供电、数字显示测量结果。能测量振动加速度、位移。对于需要进行实时FFT和谱分析的用户,可以选用AWA6290A型多信道噪声振动分析仪。

四、噪声和振动测量仪器的使用和维护

测量仪器对于使用者来说,如同战士手中的武器,正确的使用可以迅速而准确地获得必要的测量结果,从而为噪声与振动控制、环境管理或劳动条件的改善提供可靠的依据。良好的维护与保养能使测量仪器随时随地为您服务,让您称心如意的使用,还能大大延长仪器的使用寿命。

如何正确使用、维护与保养噪声和振动测量仪器呢?

首先要熟悉仪器、了解仪器。当您新拿到测量仪器后,首先您要仔细阅读使用说明书,并按说明书所述进行操作,反复训练多次直到熟练为止。现在的仪器不象以前一般声级计那么简单,它们大多数都内装单片机,功能较多,如不仔细阅读说明书,不可能正确操作。有的同志拿到仪器后,不看说明书就任意摆弄,这样一方面不能正确使用仪器,另一方面还可能将仪器弄坏。

对于您使用的仪器,您一定要了解它,摸透它的脾气。例如它的稳定性如何?电池寿命如何?有哪些地方容易出毛病?等等。您了解了它,就会在使用中注意,它就不容易出故障。

其次要正确使用仪器。仪器使用正确与否,不仅影响到测量的准确性,也影响到仪器的寿命。使用时一定要细心操作,轻拿轻放。不要让仪器暴晒在阳光下,以免仪器温度太高影响测量准确性,甚至液晶显示器(LCD)出现黑屏或花屏。更不要让仪器淋雨,如仪器淋了雨要尽快将它擦干,并放在干燥环境中驱潮,不然容易使仪器内部件锈蚀或损坏。

某报刊曾登过一张照片,操作者将声级计紧靠人体胸前进行测量,显然这样会因身体的反射而影响测量精度。正确的使用方法是使声级计尽可能远离人体及其它障碍物,或者使用延伸杆或延伸电缆以减小人体的影响。在有风的场合应在传声器上套上防风罩,在背景噪声较高的场合应对背景噪声的影响予以修正,简单修正方法如下表:

测得声级与背景噪声级之差值(dB)	3	4~6	7~9	9~10	>10
从测得声级中减去的修正值(dB)	-3	-2	-1	0.5	0

三是要正确进行校准。校准分电校准与声校准两种，有条件时应尽量选用声校准，因为它对包括传声器在内的整个仪器进行校准。现在大多数用户都在使用国产的声级校准器进行声校准，其实这种声校准器的准确性与稳定性与声级计差不多。因此，在日常使用中，如用声级校准器校准声级计相差2dB以上，则要分析一下是校准器问题还是声级计问题，例如校准几台声级计，如校准数据都偏高（或偏低）差不多dB数，则很可能是声级校准器的问题，应将声校准器送计量部门检定。

振动测量仪器的传感器--加速度计，年灵敏度变化在-5%以内，一般都用仪器内部电信号校准就可以了。当然有条件的也可以用振动校准器或振动台进行校准。为保证噪声与振动测量仪器的准确性，它们也应每年送计量部门进行检定。

四要及时更换电池或对电池充电。现在大多数袖珍式或便携式噪声振动测试仪器都用电池供电，当仪器显示电池电压不足时（显示LOBAT）则需要换电池。对于使用充电电池的仪器，则应给电池充电（普通电池不能充电），而且最好平时让电池充足电，以备需用时即可使用。每次使用完以后，千万要关闭仪器电源，否则不仅电池将消耗尽，而且电池会漏液腐蚀仪器内部机件，导致仪器损坏，这种损坏仪器的例子是经常遇到的。长期不用时，应将电池取出来（充电电池不必取出）以免电池漏液。购买电池时，要买质量好的电池，质量差的电池容易漏液，虽然质量差的电池价格便宜，但得不偿失。

五要妥善保管仪器。仪器每次使用完后应放入携带箱中或适当地方妥善保管起来，注意将备附件都放在适当位置。仪器最好由专人保管，而且每次借出使用及归还都要登记，并检查仪器是否完好，如有故障应及时修理。仪器放置地点应通风、干燥、不应有酸、碱等腐蚀性气体。

附录：杭州爱华仪器有限公司产品明细表

序号	型号名称	主要特点
声级计和噪声测量仪器		
1	AWA5610D 型积分声级计	2 级，数显，A、C、Z 计权，测量 L_p 、 L_{eq} 、E、 L_{max} 等。
2	AWA5610C 型积分声级计	2 级，数显，A 计权，可储存 60 组数据，可外接打印机打印。配 40 列串行口微型打印机及托架。
3	AWA5610P 型积分声级计	2 级，笔式，数显，A 计权，测量 L_p 、 L_{eq} 、E、 L_{max} 等。
4	AWA6218A 型噪声统计分析仪	2 级，120×32 点阵 LCD，带背光，可作数据采集及测量机场噪声，配 40 列串行口微型打印机及电源。
5	AWA6218B 型噪声统计分析仪	2 级，120×32 点阵 LCD，带背光，储存 495 组数据，外接微型打印机打印及送微机。可外接滤波器，配 40 列串行口微型打印机及电源。
6	AWA6218C 型噪声统计分析仪	2 级，4 位 LCD 显示，储存 120 组数据，可调阅，外接微型打印机打印及送计算机，配 40 列串行口微型打印机及托架。
7	AWA5661 型精密脉冲声级计	1 级，基本型，可外接滤波器进行频谱分析，有 RS-232C 接口输出
8	AWA5661A/B/C 型精密脉冲声级计	A 型，高性能，频率范围宽；B 型，低声级测量；C 型，高声级（至 160dB）测量
9	AWA5633（D）型声级计	2 级，数显，A 计权，自动量程转换
10	AWA5633A 型声级计	2 级，数显，A、C、Z 计权，可外接滤波器进行频谱分析
11	AWA5633P 型声级计	2 级，笔式，数显，A 计权，测量 L_p ， L_{max}
12	AWA6270+A 型噪声分析仪	1 级，128×64 点阵 LCD，带背光，1/1 和 1/3 倍频程分析和混响时间测量
13	AWA6270+B 型噪声分析仪	1 级，128×64 点阵 LCD，带背光，噪声统计分析和 24h 测量，250~1000 组数据储存及科学回删，配 40 列串行口微型打印机及电源
14	AWA6270+C 型噪声分析仪	1 级，128×64 点阵 LCD，带背光，数据采集和机场噪声测量，配 40 列串行口微型打印机及电源
15	AWA6270+AB 型噪声分析仪	兼具 AWA6270+A 和 AWA6270+B 功能
16	AWA6270+AC 型噪声分析仪	兼具 AWA6270+A 和 AWA6270+C 功能
17	AWA6270+BC 型噪声分析仪	兼具 AWA6270+B 和 AWA6270+C 功能
18	AWA6270+ABC 型噪声分析仪	兼具 AWA6270+A 和 AWA6270+B 和 AWA6270+C 功能
19	AWA6270A 型噪声频谱分析仪	2 级，内置倍频程滤波器，兼具 AWA6218C 型噪声统计分析仪的噪声统计分析、储存、调阅、打印、连计算机等功能，配 40 列串行口微型打印机及电源。
20	AWA6270B 型噪声频谱分析仪	2 级，内置倍频程滤波器，可测量 L_p 、 L_{eq} ，可进行现场混响时间测量，可储存、调阅、打印（不带打印机）
21	AWA6270C 型噪声频谱分析仪	2 级，可测量 L_p 、 L_{max} ，内置倍频程滤波器进行倍频程谱分析
22	AWA5721 型倍频程滤波器	符合 GB/T3241 标准 2 级，袖珍式，配合声级计使用
23	AWA5722 型分数倍频程滤波器	1/1 和 1/3 倍频程带宽，符合 GB/T3241 标准 2 级，配合声级计使用
24	AWA5722A 型分数倍频程滤波器	1/1、1/3 和 1/6 倍频程带宽，符合 GB/T3241 标准 2 级，台式
25	AWA6290A 型多信道噪声振动分析仪（计算机另配）	1-8 信道可选，实时 FFT 和 1/1 及 1/3 倍频程谱分析。可配置频谱分析软件包、环境噪声监测软件包、建筑声学测量软件包、振动测量软件包
26	十二面体声源	总功率 180W，配功率放大器和噪声发生器可作为噪声源

27	环境噪声自动监测系统	全天候环境噪声监测，多点组网测量，电话线或 GPRS（CDMA）自动传输数据，系统自动校准
28	便携式声强测试分析仪	测量噪声源声功率和噪声源定位,FFT、1/1 和 1/3 倍频程谱分析。
振动测量仪器		
29	AWA5933 型振动计	袖珍式，数显，测量 a、v、s，配磁吸座
30	AWA6256B 型环境振动分析仪	2 型，120×32 点阵式 LCD，带背光。全身垂向、水平计权及线性，配 40 列串行口微型打印机及电源
31	AWA3310 型频率计	袖珍式，数显，1Hz~20kHz，配合声级计或振动计测量频率
电声测试仪器		
32	AWA6122 型智能电声测试仪	全套，测量扬声器、传声器、耳机、咪头、音头、受话器等电声特性
33	AWA6122S 型智能电声测试仪	专用于扬声器测试
34	AWA6122M 型智能电声测试仪	专用于传声器、咪头、音头等测试
35	AWA6122R 型智能电声测试仪	专用于受话器测试
36	AWA6122T 型智能电声测试仪	专用于送话器测试
37	AWA6122C 型智能电声测试仪	专用于送受话器组合件测量
38	AWA6122A 型智能电声测试仪	专用于配合驻波管测量材料的吸声系数
39	驻波管	配合 AWA6122A 测量材料的吸声系数（100、32）
40	AWA6062A 型驻极体传声器测试仪	数字指示，70Hz 和 1kHz 双频率点
41	AWA6063A 型驻极体传声器测试仪	数字指示，70Hz、1kHz 和 1kHz 三频率点
42	AWA5810A 型测量放大器	A、C、Z 计权和 FLAT 频响，2Hz~40kHz，31.6 μV~10V(满度值)
43	AWA5870A 型功率放大器	最大有效值输出功率 2×150W，双路
44	AWA5551 型猝发音发生器	数字信号合成，
测试传声器、前置放大器和声校准器		
45	AWA14413 型测试电容传声器	1/2 英寸，自由场型，28V 极化电压，频率范围 20Hz ~ 12.5kHz
46	AWA14421 型测试电容传声器	1/2 英寸，自由场型，预极化，频率范围 20Hz ~ 12.5kHz
47	AWA14422 型测试电容传声器	1/2 英寸，声压型，预极化，频率范围 20Hz ~ 8kHz
48	AWA14423 型测试电容传声器	1/2 英寸，自由场型，预极化，频率范围 20Hz ~ 20kHz
49	AWA14425 型测试电容传声器	1/2 英寸，自由场型，预极化，频率范围 20Hz ~ 16kHz
50	AWA14601 型前置放大器	10Hz ~ 200kHz，配预极化测试电容传声器使用,带 2m 延伸电缆
51	AWA14602 型前置放大器	20Hz ~ 20kHz，配预极化测试电容传声器使用,带 2m 延伸电缆
52	AWA14603 型前置放大器	10Hz ~ 20kHz,20dB 增益，配预极化测试电容传声器使用,带 2m 延伸电缆
53	AWA6221 型声级校准器	1 级，94dB 及 114dB，1kHz
54	AWA6221B 型声级校准器	2 级，94dB，1kHz
55	户外传声器单元	全天候工作，可以自动校准