

# 环境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

2013年6月

# 公司简介

我公司是杭州国家高新技术产业开发区的高新技术企业和软件企业，专业从事噪声、电声、声学 and 振动测量仪器的研发与生产，是国内著名声学测量仪器研制与生产厂家，注册资本 500 万元人民币。公司通过 ISO 9001:2008 质量管理体系认证、浙江省 AAA 级标准化认证，产品符合国家标准和国际标准，主要产品通过中国计量院或省级计量院型式评价，并具有制造计量器具许可证（编号：浙制 01010338），部分产品取得 CE 认证。

我公司目前专业生产测试传声器、声级计和噪声测量仪器、环境噪声自动监测系统、电声测量仪器、振动测量仪器和校准测试仪器等系列产品，产品品种达 100 多个，涵盖环境噪声测量、工业噪声测量、机场噪声测量、建筑声学测量、电声测量、机器振动测量、环境和人体振动测量等领域。

公司现建有杭州市爱华仪器高新技术研发中心，拥有大批高素质人才，大专以上学历员工占总员工比例超过 80%。公司坚持自主创新求发展的理念，承担并完成国家技术创新基金项目、浙江省重点高新技术新产品研制项目和杭州市科技攻关项目。主导起草最新声级计国家标准，参与起草振动仪器、滤波器、仿真耳等国家标准。拥有国内专利 4 项，软件著作权 14 项，获杭州市科技进步奖 2 项，主要产品具有自主知识产权。在国内同行中率先采用数字检波、实时信号分析、科学回删异常测量值、以及遥控遥测等新技术，技术水平处国内领先。

我公司产品用户遍及全国所有省市自治区，并出口东南亚、欧盟、南北美等国和地区。“爱华”声级计已成为声学界众所周知的名牌产品，同类产品品种、产量和市场占有率都居国内第一位。为了更好为用户服务，我公司在北京、广州设有办事处，在武汉、成都、济南、石家庄、福州等地设有维修服务点，在全国各大中城市设有经销点。包括清华大学、北京大学等知名高校在内 75 所国内高校使用我公司生产的仪器。

我公司是中国声学学会理事、中国环境保护产业协会噪声与振动专业委员会常务委员、中国振动工程学会噪声与振动控制委员会理事、中国电子仪器行业协会会员、中国电声学标准化技术委员会委员、中国声学计量技术委员会委员、浙江省声学学会副理事长、浙江省环境保护产业协会常务理事、浙江省振动工程学会理事、浙江省环境监测协会理事、杭州市环境保护产业协会副会长。

## 杭州爱华仪器有限公司参与起草的部分国家标准

序号	国家标准	名称	顺序
1	GB/T 3785.1-2010 (IEC 61672-1:2002)	《电声学 声级计 第 1 部分：规范》	第 1 起草单位
2	GB/T 23716-2009 (ISO 8041:2005)	《人体对振动的响应-测量仪器》	第 2 起草单位
3	GB/T 25498.3-2010 (IEC 60318-3:1998)	《电声学 人头模拟器和耳模拟器 第 3 部分：校准压耳式测听耳机用声耦合器》	第 2 起草单位
4	GB/T 14790.1-2009 (ISO 5349-1:2001)	《机械振动 人体暴露于手传振动的测量与评价 第 1 部分：一般要求》	第 3 起草单位
5	GB/T 3785.2-2010 (IEC 61672-2:2003)	《电声学 声级计 第 2 部分：型式评价试验》	第 3 起草单位
6	GB/T 3241-2010 (IEC 61260:1995)	《电声学 倍频程和分数倍频程滤波器》	第 4 起草单位
7	GB/T 25498.1-2010 (IEC 60318-1:1998)	《电声学 人头模拟器和耳模拟器 第 1 部分：校准压耳式耳机用耳模拟器》	第 4 起草单位

# 目 录

<b>1 声波</b> .....	<b>1</b>
1.1 振动与声	
1.2 声音的性质	
1.3 声波的传播特性	
1.4 平面波、球面波、柱面波	
1.5 声波的衰减与吸收	
1.6 声源辐射的近场区和远场区	
<b>2 噪声及其危害</b> .....	<b>13</b>
2.1 噪声	
2.2 噪声的频谱	
2.3 噪声的危害	
<b>3 噪声的评价</b> .....	<b>18</b>
3.1 响度级和响度	
3.2 声级和A声级	
3.3 时间平均声级或等效连续声级 $L_{eq}$	
3.4 昼夜等效声级 $L_{dn}$	
3.5 声暴露级 $L_{AE}$	
3.6 噪声暴露量 $E$ (噪声剂量 $DI$ )	
3.7 累计百分声级 (统计声级) $L_N$	
3.8 交通噪声指数 $TNI$	
3.9 标准偏差 $SD$ 和噪声污染级 $NPL$	
3.10 噪声评价数 $NR$	
3.11 感觉噪声级 $L_{pN}$ 和噪度 $NT$	
<b>4 环境噪声允许标准</b> .....	<b>26</b>
4.1 声环境质量标准 (GB3096-2008)	
4.2 工业企业厂界环境噪声排放标准 (GB12348-2008)	
4.3 社会生活环境噪声排放标准 (GB 22337—2008)	
4.4 建筑施工场界环境噪声排放标准 (GB12523-2011)	
4.5 铁路边界噪声限值 (GB12525-90, 2008-7-30修改)	
4.6 机场周围飞机噪声环境标准 (GB9660-88)	
4.7 城市港口及江河两岸区域环境噪声标准 (GB11339-89)	
4.8 汽车定置噪声限值(GB16170-1996)	
4.9 城市轨道交通引起建筑物二次幅射噪声限值 (JGJ/T 170-2009)	
<b>5 环境噪声测量仪器的选用</b> .....	<b>31</b>
5.1 声级计的工作原理	
5.2 积分声级计和噪声统计分析	
5.3 频谱分析仪和实时信号分析仪	
5.4 环境噪声自动监测系统	
5.5 声校准器	
<b>6 环境噪声监测方法</b> .....	<b>40</b>
6.1 声环境噪声测量方法 (GB3096-2008)	
6.2 工业企业厂界排放噪声测量方法 (GB12348-2008)	
6.3 社会生活环境噪声排放测量方法(GB GB 22337—2008)	
6.4 建筑施工场界噪声测量方法 (GB12524-2011)	
6.5 铁路边界噪声测量方法 (GB/T12525-90)	
6.6 机场周围飞机噪声测量方法 (GB9661-88)	
6.7 城市轨道交通引起建筑物二次幅射噪声测量方法 (JGJ/T 170-2009)	
6.8 本底噪声的修正和低声级噪声测量方法	
<b>7 新环境噪声国家标准与测量仪器要求</b> .....	<b>51</b>

7.1	新标准的主要变化	
7.2	测量仪器标准和准确度等级	
7.3	结构传播固定设备室内噪声和倍频带声压级测量	
7.4	为什么选用实时分析仪	
7.5	声校准器类型及其准确度等级	
7.6	噪声自动监测系统的建设	
7.7	其它有关噪声测量的问题	
7.8	结构传播固定设备室内噪声测量实例	
<b>8</b>	<b>环境振动测量</b> .....	<b>62</b>
8.1	概述	
8.2	振动传感器	
8.3	环境振级计	
8.4	我国环境振动标准（GB10070-1988）	
8.5	环境振动测量方法（GB/T10071-1988）	
8.6	铁路环境振动测量（TB/T 3152-2007）	
8.7	城市轨道交通引起建筑物室内振动限值及其测量方法（JGJ/T 170-2009）	
<b>9</b>	<b>环境噪声测量和数据管理</b> .....	<b>67</b>
9.1	AWA6228多功能声级计在新环境噪声国家标准中的应用	
9.2	环境噪声数据管理系统软件	

# 1 声波

## 1.1 振动与声

声音是人们非常熟悉的一种物理现象。在我们周围，每时每刻都能听到各种不同的声音：滔滔不绝的谈话声，孩子们的欢笑声，机器的隆隆声，汽车喇叭的尖叫声等等。如果没有声音，人类将无法交谈，无法欣赏动听的音乐，人们失去了欢乐，包围人们的世界毫无生气，一片死寂。因此，很难想象人们将如何生活和工作。但是有的声音也给人带来烦恼，过强的声音还能损伤人耳的听力或引起身体的不适，这又是我们不需要的并努力去降低的声音。声音对人类是多么重要呀！我们需要知道：声音究竟是什么？声音是怎样产生的？又怎样被我们听到呢？

当我们听到锣鼓声的时候，就会看到有人在敲锣打鼓。用手掌轻轻按在敲响的锣面上，就会觉到手掌由于锣面的迅速振动而发麻。在槌响的鼓皮上扔一个小纸团，小纸团就会随着鼓皮的振动瑟瑟跳动，鼓的余音徐徐降低，纸团跳动越来越小，声音没了，纸团也停止了跳动。可见，物体振动可以发声。工厂中，物体振动发声的例子更为常见，铁锤敲钢板，钢板振动发声；纺织机由于飞速运动的梭子不断与打板撞击而发声。不仅成形的固体器件因振动而发声，液体和气体的振动亦能发声。化工厂中的管道阀门噪声就是液体振动发声的现象，高压容器排气放空时的排气噪声就是高速气流与周围静止空气互相作用而引起空气振动的结果。总之，声音是由物体的机械振动而产生的。振动的物体（固体、气体或液体）称为声源。

声音总是通过一段距离从声源传入人耳，在声源与人耳之间，物体振动的能量靠什么传递的呢？或者说声音靠什么传播的呢？科学实践告诉我们，声音是由空气来传播的。一个敲响的鼓面，上下不断振动使得鼓面上面一层的空气分子也随着上下振动。由于空气分子之间有一定的弹性，以及分子的惯性，振动着的分子又带动了与其相邻的其它分子。依此类推，鼓面的振动就可以使远处的空气分子发生振动，这个振动的能量通过空气分子传到我们的耳中，则听到了鼓声。

声音也能在固体和液体中传播。如在工厂里有的工人用木棒或起子的一端放在运转机器的某个部件上，另一端贴在耳朵上，机器的声音就通过木棒传到耳中。工人采用这种办法，来判别机器运转是否正常。水中的鱼听到人们在岸边的脚步声响而迅速逃走，说明固体和液体也是传声的媒介。

声音在气体、液体或固体介质中传播时，介质的质点只在其平衡位置附近往返振动，并不随同声波流动。这就象石子投入水中激起的水波一样，当圆形的水波一圈圈扩散传播开去的时候，水的质点并未与水波一起前进，只是在原地上下运动。一般把振动传播的现象称为波动，声音是一种波动，通常称为声波。

## 1.2 声音的性质

### 1) 声压和声压级

声音的第一个特点就是强弱之分。

我们仍以鼓皮发声为例子，简单谈一下声音的强弱是怎么一回事。振动的鼓面，在其位置上下往返运动，当鼓皮被槌击变形在平静位置之下最低位置，由于弹力作用往上运动的一瞬间，弹力除了使

鼓皮迅速向上运动以外，一部分变为鼓皮给空气的压力，这部分压力来势很猛，紧贴鼓皮的气体分子与鼓皮一起向上运动，离鼓皮稍远的气体分子还处在静止状态或来不及跟鼓皮一起向上运动，则空气被压缩而变密了；反之，鼓皮往下的迅速运动，又使得这层空气被拉伸而变得稀疏了，而同时原来被压缩变密的部分，通过气体分子传递到了较远的空气层。鼓皮上下振动一次，空气就被压变密、被拉变疏各一次，同时向外辐射出一个疏密波。鼓皮连续振动，则鼓皮上面不断形成密疏相间的空气层，并传播开去，故声波亦称疏密波。

我们通常生活的环境压强是一个大气压，当声音这个疏密波传来时，疏部的压强就稍稍低于一个大气压，密部的压强稍稍高于一个大气压，如图 1.1 所示，声音是在大气压上的压强波动。这个压强波动的大小简称为声压。以  $p$  表示，其单位是 Pa(帕)， $1 \text{ Pa}=1 \text{ N/m}^2$  (牛顿/米<sup>2</sup>)。一个大气压等于  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

鼓皮敲得重，上下振动剧烈，声压大，听起来声音就响。反之振动小，声压小，听起来声音就弱。

声压可以用峰值、平均值和有效值表示。峰值就是瞬时声压的最大值，平均值是瞬时声压的绝对值在一段时间上的平均数，有效值是瞬时声压的平方值在一段时间的平均数的平方根，又称均方根 (rms) 值，数学表达式为：

$$p = \frac{1}{T} \sqrt{\int_{t_1}^{t_2} [p(t)]^2 dt} \quad (1-1)$$

声压的有效值直接与声波能量有关，所以声压一般用有效值表示，以下除非注明，所论声压均指有效值。

人耳刚刚能听到的最小声压约为  $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ ，只有一个大气压的五十亿分之一。喷气式飞机附近的声压可达数百帕，这是人耳能短时忍受的最大声压级了，那也不过是一个大气压的千分之几，在这么强的声音下人耳感到压痛、头昏，时间稍长就会引起耳聋。

从刚刚可以听到的声音到人们不堪忍受的声音，声压相差数万倍，显然，用声压表达各种不同大小的声音实在太不方便了。为了实用上方便，同时考虑到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平方取常用对数乘以 10，单位是 dB (分贝)。声压级的数学表达式为：

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (1-2)$$

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的声音。

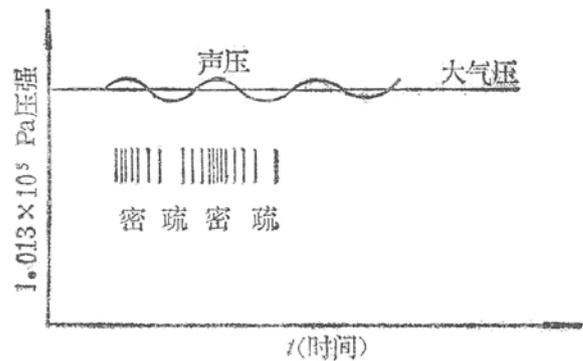


图 1.1 声音是大气压上的压强波动

如  $p = p_0$  , 则  $L_p = 20 \lg 1 = 0 \text{ dB}$ ; 如  $p = 200 \text{ Pa}$ , 则  $L_p = 20 \lg 10^7 \text{ Pa}$ , 则  $L_p = 20 \lg 10^7 = 140 \text{ dB}$ 。

## 2) 声音的音调、频率和周期

声音的第二个特点是音调有高低之分。

音乐中有高低音之别, 噪声中也有尖锐的电锯声, 也有低沉闷响的空气压缩机声。这又是为什么呢? 观察和实验表明, 声源振动的快慢决定了其发声音调的高低; 振动慢、音调低; 振动快、音调高。物理学上用频率这个术语来表示声源的振动快慢, 它表示物体在一秒内振动的次数。频率用  $f$  表示, 单位是  $\text{Hz}$  (赫)。

物体完整振动一次所需的时间称为振动周期, 用  $T$  表示, 单位是  $\text{s}$ 。显然, 物体振动愈快, 即  $f$  高, 则振动一次所需时间愈短, 即  $T$  愈小, 周期与频率互为倒数, 也就是:

$$T = \frac{1}{f} \quad (1-3)$$

振动过慢或过快的声音人们是感觉不到的。人类只可以听到每秒振动 20 次到 20000 次的声音, 我们称 20 ~ 20000  $\text{Hz}$  的声音为可听声, 低于 20  $\text{Hz}$  声音为次声, 高于 20000  $\text{Hz}$  的声音为超声, 次声和超声人耳听不到。但它是客观存在的。如老鼠可以听到次声, 蝙蝠可以听到超声。

电锯主要噪声频率在 1000  $\text{Hz}$  以上, 听起来尖叫刺耳; 818 型高压风机主要噪声频率在 500  $\text{Hz}$  左右, 听起来比电锯低沉一些; 而空压机主要噪声频率在 200  $\text{Hz}$  左右, 它发出的噪声更为低沉、沉闷。人们说话的频率范围是 100 ~ 2000  $\text{Hz}$ , 男同志讲话多在 500  $\text{Hz}$  以下, 女同志讲话多在 500  $\text{Hz}$  以上, 所以听起来男同志嗓音的音调比女同志低。

## 3) 声压的叠加

声压的叠加, 实质上是声强的叠加, 声强与声压的平方成正比。如  $p_1$  与  $p_2$  的合成声压为:

$$p_{\text{合}} = \sqrt{p_1^2 + p_2^2} \quad (1-4)$$

声压级为

$$L_{p_{\text{合}}} = 20 \lg \frac{\sqrt{p_1^2 + p_2^2}}{p_0} \quad (1-5)$$

当  $p_1 = p_2$  时, 则

$$L_{p_{\text{合}}} = 20 \lg \frac{\sqrt{2p_1^2}}{p_0} = 20 \lg \sqrt{2} \left( \frac{p_1}{p_0} \right) = L_{p_1} + 3 \text{ dB} \quad (1-6)$$

即声压加倍, 声压级仅增加 3  $\text{dB}$ 。同样通过计算可以得知, 声压增加 10 倍, 声压级增加 20  $\text{dB}$ , 声压增加 100 倍, 声压级增加 40  $\text{dB}$ 。

以上例子说明, 两个声压级或多个声压级相加绝不是  $\text{dB}$  数的简单算术相加, 而必须按照对数的运算规律相加。为了简便起见, 可以运用图 1.2 进行不同声压级的合成, 图中横轴  $|L_1 - L_2|$  是声压级的算术绝对差值, 合成声压级取较大的一个声压级与增量  $\Delta L$  的和表示:

$$L_{p_{\text{合}}} = L_{p_{\text{大}}} + \Delta L \quad (1-7)$$

如两个声压级分别为 100 dB 和 95 dB, 则  $|L_1-L_2|=5$  dB,  $\Delta L=1.2$  dB, 合成声压级  $L_{P合} = 100 + 1.2 = 101.2$  dB。对于多个声压级合成, 先找其中两个相加得到合成声压级, 再将合成声压级与第三个声压级相加, 如此类推直到加完。亦可一对一对的合成以后, 对合成声压级进行相加, 如求 95 dB,

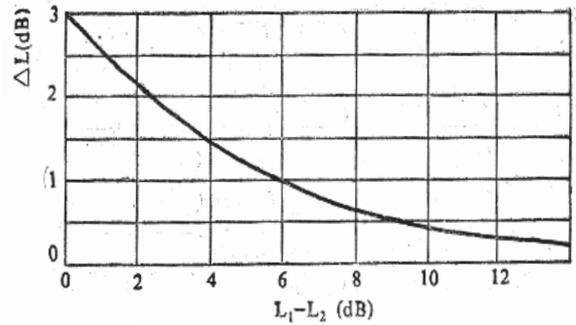
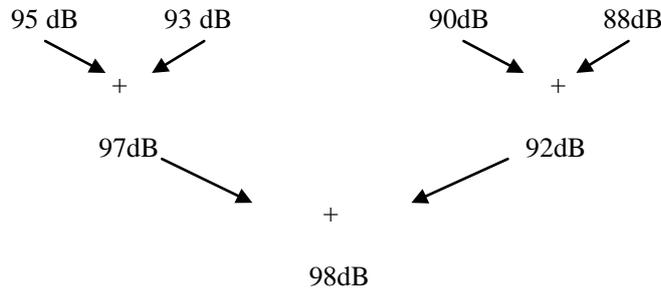


图 1.2 合成声压级的增量图

93 dB, 90 dB 和 88 dB 四个声压级的合成声压级, 可按下述步骤进行:



得合成声压级为 98 dB。

实际测量中经常遇到干扰噪声不能排除的情况, 这时被测信号声级  $L_S$  与干扰噪声级  $L_N$  叠加在一起时测得声级为  $L_{S+N}$ , 若它与  $L_N$  之差知道, 则从图 1.3 可以求得  $L_{S+N}-L_S$  的差值, 从而求得  $L_S$  值。

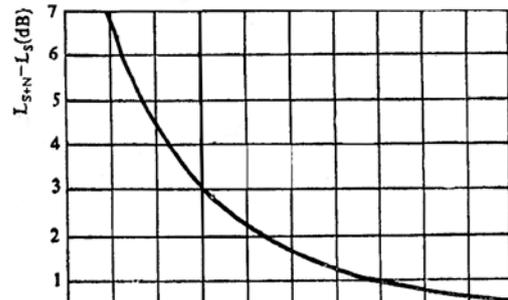


图 1.3 混合声级与干扰声级差值对修正值的关系

### 1.2 声强与声功率

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称之为声强, 以  $I$  表示, 单位是  $W/m^2$  (瓦/米<sup>2</sup>)。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:

$$I = \frac{P^2}{\rho c} \quad (1-8)$$

式中:  $\rho$  是介质密度;  $c$  是声速。介质密度和声速的乘积  $\rho c$  是介质的一种固有属性, 称之为特性阻抗。对于空气来说, 在标准大气压力和常温 20 °C 时,  $\rho c = 414$  Pa·s/m (瑞利)。大气压力和温度不同时, 介质的特性阻抗也不一样。

声源在单位时间内辐射的总声能, 称为该声源的声功率, 用  $P$  表示, 单位是 W (瓦)。声功率是声源的基本特征之一, 它实际上等于包围声源的一个封闭面上的声强总和:

$$P = \oint_s I_n ds \quad (1-9)$$

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声波，其声功率为：

$$P = I_r 4\pi r^2 \quad (1-10)$$

式中： $I_r$  是距离点声源为  $r$  处的声强。

如果声源在开阔的地面上，声波只向半球面辐射，此时

$$P = I_r 2\pi r^2 \quad (1-11)$$

这里  $I_r$  是半径等于  $r$  的半球面上的平均声强。

可以看出，对于一个稳定的声源，不管其所处环境条件如何，其产生的声功率是个恒量。但是分布在距点声源不同距离上的声压却是不同的。

用对数表示的声强定义为声强级，其表示式为：

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (1-12)$$

式中： $I$  是声强； $I_0$  是参考声强；一般取  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ ，这是相应参考声压级  $P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$  时的声强。一般情况下可以认为声压级等于声强级，即：

$$L_P = 20 \lg \frac{p}{p_0} = 10 \lg \frac{I}{I_0} = L_I \quad (1-13)$$

同理，可以通过声功率定义声功率级：

$$L_W = 10 \lg \frac{P}{P_0} \quad (1-14)$$

式中： $P$  表示声源的声功率， $P_0 = 10^{-12} \text{ W}$ ，为参考声功率。表 1.1 给出了几种声源的声功率和相应的声功率级。

表 1.1 几种声源的声功率和声功率级

声功率 (W)	声功率级 (dB)	声源
25000000	195	土星火箭
4000000	185	冲压式喷气飞机
1000000	170	有后燃室的涡轮喷气发动机
100000	160	3125 kg 推力的涡轮喷气发动机
10000	150	四桨引擎飞机
100	140	75 人乐队、管风琴 1/8 s 间歇内峰值
10	130	小型飞机发动机
1	120	大型鑿平锤
0.1	110	钢琴、大号 1/8 s 间歇内峰值
0.01	100	大音量的收音机、离心通风机 (368 m <sup>3</sup> /min)
0.001	90	1.3 m 织机、公路上汽车、轴流风机 (42.5m <sup>3</sup> /min)
0.0001	80	喊叫声 (长期平均有效值)
0.00001	70	交谈声 (长期平均有效值)
0.000001	60	
0.0000001	50	
0.00000001	40	
0.000000001	30	很轻的耳语音
10 <sup>-12</sup>	0	青年人的听阈

为便于换算级和相应数值的关系，图 1.4 给出了声压与声压级、声强与声强级、声功率与声功率级的列线图。

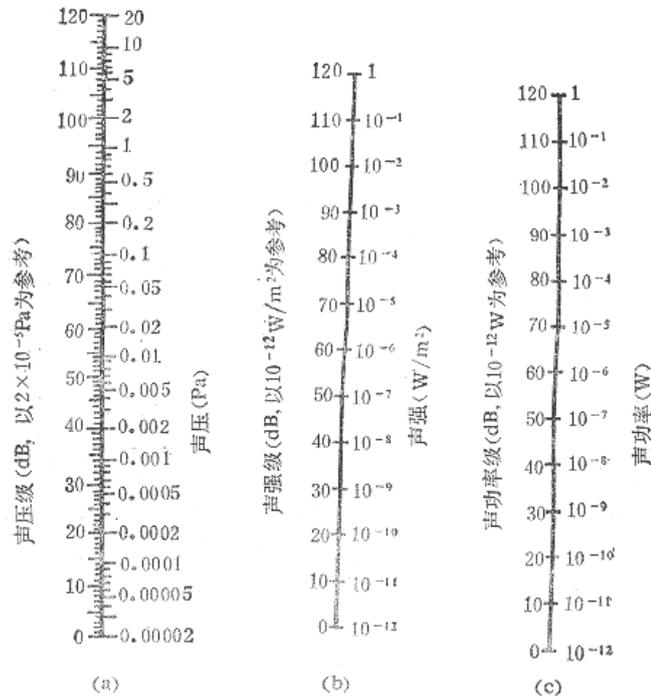


图 1.4 级和相应的声压、声强和声功率的换算列线图

### 1.3 声波的传播特性

#### 1) 声速和波长

声波在介质中的传播速度称为声速，通常用  $c$  表示，单位是  $\text{m/s}$ （米/秒）。声速不仅与介质状态（气态、液态、固态）有关，对于气态物质还与密度、温度有关。一般空气中的声速可以表示为：

$$C = 331.5 + 0.6 t \quad (\text{m/s}) \quad (1-11)$$

式中： $t$  为空气温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )

在常温 ( $20^{\circ}\text{C}$ ) 和标准大气压 [ $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ] 下，大气中的声速近似等于  $344 \text{ m/s}$ 。声波在液体介质中的传播速度较快，在固体介质中的速度最快，表 1.2 中列出了几种介质中的声速。

表 1.2 几种介质的密质、声速和特性阻抗

材料	温度 $t$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	密度 $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	声速 $c$ ( $\text{m/s}$ )	特性阻抗 $\rho c$ ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )
空气	0	1.293	331	428
	20	1.205	343	413
二氧化碳	0	1.977	259	512
水蒸气	100	0.596	405	241
水	17	$0.999 \times 10^3$	$1.430 \times 10^3$	$1.43 \times 10^6$
海水	17	$1.025 \times 10^3$	$1.51 \times 10^3$	$1.55 \times 10^6$
石油	15	$0.700 \times 10^3$	$1.33 \times 10^3$	$0.93 \times 10^6$
钢		$7.80 \times 10^3$	$6.10 \times 10^3$	$4.76 \times 10^6$
混凝土		$\sim 2.6 \times 10^3$	$\sim 5.0 \times 10^3$	$\sim 13 \times 10^6$
砖		$\sim 1.8 \times 10^3$	$\sim 3.6 \times 10^3$	$\sim 6.5 \times 10^6$

我们已经知道在常温和标准大气压下声速为 344 m/s，假如声源的振动频率为 344 Hz，即是在一秒钟内声源辐射出去 344 个完整的波，这些波均匀地分布在 344 m 的传播距离上，可见每个完整的波具有 1 m 的长度。在瞬时声波的空间分布上的两个相邻的密部或疏部之间的距离叫波长，用  $\lambda$  表示，单位为 m。前面所述频率为 344 Hz 的声波，波长为 1 m；若频率为 3440 Hz，则波长为 0.1 m，显然频率愈高，波长愈短，波长与频率成反比。波长  $\lambda$  与频率  $f$  和声速  $c$  之间的关系为：

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-12)$$

## 2) 反射和混响

在大气中传播着的声波撞到障碍物上，则会产生反射。在山谷中喊话，可以听到清晰的回声，有时山的远近不一样，就可以听到二次、三次回声，这是声波与山相碰后又折回传播被听到的缘故。声波不仅遇到固体产生反射，遇到液体也反射，就是遇到含有大量水蒸气的乌云时也能产生反射。如有时雷声隆隆一连几响，就是雷声在地面与乌云之间反射的结果。在管道中传播的声音由于管道截面积突变，或出现拐折、弯头时也会有部分声音反射回来。总之声波从一种介质传至另一种介质的分界面时，由于两种介质传播条件不一样（面积突变等），一部分声能被反射回去，一部分传入另一介质。两种介质的物理性质相差越大，或管道截面突变越大，则反射声越强。严格来讲，反射是有条件的，当障碍物的尺寸远远大于声波波长，才能产生明显的声反射。

反射声的强弱用反射系数来衡量，反射系数定义为反射声强与入射声强之比，从特性阻抗为  $\rho_1 c_1$  的介质传播到特性阻抗为  $\rho_2 c_2$  的介质中去的声波，在两种介质的界面上将产生反射，当入射声波垂直于界面时，反射系数  $\gamma_0$  为：

$$\gamma_0 = \left( \frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} \right)^2 \quad (1-13)$$

由于空气的特性阻抗远远小于固体或液体的特性阻抗，所以在大气中传播的声波遇到这些障碍物时反射相当明显，这就是我们前面提到的回声。

有人问，为什么在屋里听不到回声？这是因为：即使在一间较大的长宽各 15 m 的房间中央喊一声，来自四面的回声仅用不到 0.05 s 的时间就传到你的耳中去了。此时人耳尚来不及反应，所以分辨不出清晰的回声。不过这种回声会增加你喊话的强度。一般人都有体会，在室内关窗讲话比四面开窗时讲话要响。

声音在表面光滑、坚实的物体上反射很强，如在大理石上反射声级可高达入射声能的 99% 以上。用这种材料作壁面的礼堂是无法听清讲话的，由于反射声衰减慢，你说第二句话时，第一句话的声音仍很强，这种由于声反射产生的余音现象称为混响。一般礼堂、电影院都要避免这种过强的混响，所以在天花板或壁面上采用表面粗糙多孔的木丝板，或用质地柔软的帐幕挂在壁面上以吸收声能，避免反射过强，同时使礼堂更加肃静。工厂中，有的车间较吵，用吸声吊顶可以降低混响和噪声。

## 3) 声波的绕射，折射和干涉

如果障碍物的尺寸远远大于声波波长，绝大部分声波被阻挡回去，在障碍物背后形成一片声波到

达不了的声影区；如果障碍物的尺寸与声波波长相当或小于声波波长，则这个声影区减小，也就是说部分声波“绕”过障碍物传到障碍物的后面部分空间。这种“绕”的物理现象称之为绕射（如图 1.5）。声波波长相对障碍物尺寸愈大，绕射愈强，这亦是低频声不易隔绝的主要原因之一。

声波在传播途中，遇到不同的介质时，除了将在界面上产生反射声波以外，还有传入另一介质的声波，称为透射声波，透射声波将偏离原来声波的入射角，即产生折射（图 1.6）。入射角  $\theta_1$  与折射角  $\theta_2$  之间有下列关系：

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{c_1}{c_2} \quad (1-14)$$

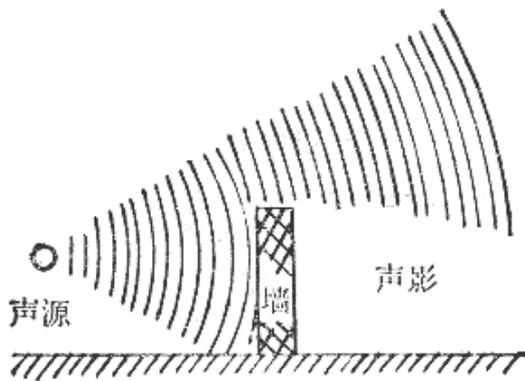


图 1.5 声波的绕射

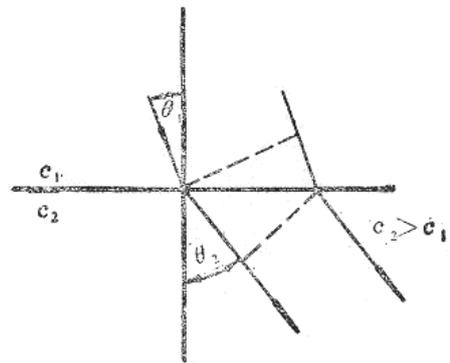


图 1.6 声波的折射

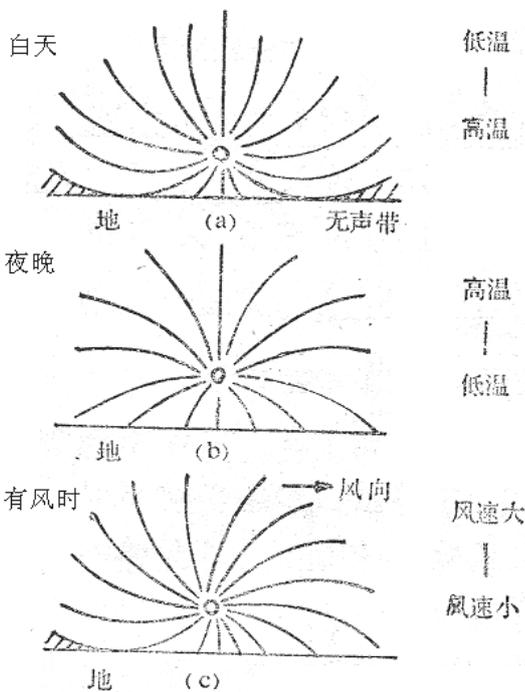


图 1.7 声波在大气中的折射

当介质存在温度差时，声波会产生相应的变化，声波会产生折射。例如白天，太阳照射使地面附近的空气比上层温度高，于是地面附近声速快，上层声速慢，这样，声波就向上折；夜晚刚好与白天相反，上层空气温度高，声速快，于是声音就折向地面，这亦是在旷野里夜晚比白天声音传播得更远的原因。

当有风时亦将产生声波的折射现象。由于地面附近风的阻力大风速小，因此在顺风时，声波在上层传播得快，向下折射；反之，逆风时声波向上折射。这也是声音顺风传播得更远的原因。图 1.7 中表明了大气中声波的折射现象。

两个具有相同频率，一定相位差的声波在同一空间传播时，它们可以相互迭加。若两个声波到达某一点刚好都是声波的密部或都是声波的疏部，也就是它们的相位相同，则它们互相加强，使这点声压增大。如果一个声波的密部与另一个声波的疏部相逢在某处，也就是它们的相位相反，则它们就互

相减弱，使该处的声压减小，这种现象叫声波的干涉。

驻波是一种特殊的干涉现象，是两个相干平面波在同一直线相向传播时（如在室内垂直于墙壁的入射波和反射波），则两个声波的迭加在空间中形成了合成声压随位置变化出现周期性的极大和极小。这种固定在空间的周期波称为“驻波”或“定波”。如果两个声波（如入射声波与反射声波）的强度相同，则驻波的最小声压为零，其所在的位置称为波节，驻波的最大声压加倍，其所在位置称为波腹。两个波节（或波腹）之间的距离为原声波波长的一半即  $\lambda/2$ ，如图 1.8 所示。

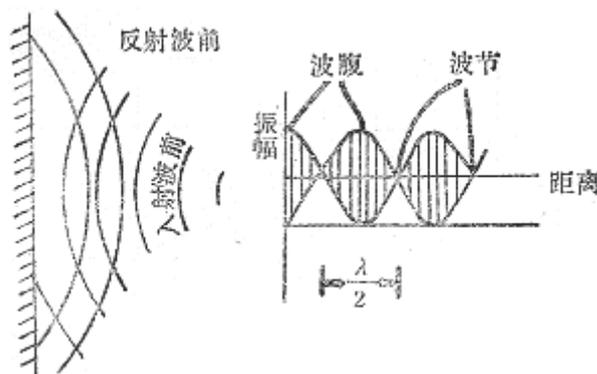


图 1.8 驻波的形成和驻波

利用驻波原理测量吸声材料的吸声系数（管测法），是一种广泛使用简便易行的方法。

#### 1.4 平面波、球面波、柱面波

在声波传播的过程中，如果将同位相的点相联，得到的是一系列平行的平面，则称之为平面波。显然平面波的波阵面与传播方向是垂直的。平面声波的一个重要特点是，它的振幅不随传播距离而变化（假定媒质没有吸收。）

如果将同位相的点相联，得到的是一系列同心球面，这种声波称球面波，其波阵面（球面）也与传播方向（径向）垂直。如果声源的尺寸比所辐射声波的波长小得多，则可近似地看作辐射球面波，此声源可被看作“点声源”。球面声波的一个重要特点是，它的振幅与传播距离成反比关系。

如果同位相的点相联得到的是平行的柱面，就称为柱面波，其声源一般可视为“线声源”。柱面波的振幅与传播距离的平方根成反比。

平面波、球面波、柱面波虽然是理想的波的传播类型，但在实际情况下经常可以找到近似为某种类型波的条件。例如一列火车或公路上一个车队，往往可被近似为线声源。当声波传播距离比该线声源的长度甚小的范围内，可以认为它遵循柱面波的传播规律。当声波传播距离甚大于该线声源的长度时，则在某个方向上的传播，又可当作球面波的一部分来考虑。如果考虑在远小于传播距离的某个小区域内的传播问题，则又可简化为平面波的传播，正好像在一个很大的球上截取一小块面元，可被近似为一小块平面一样。

#### 1.5 声波的衰减和吸收

声波在传播时，随着离声源距离的增加，声压要降低。由点声源辐射出的声波在自由声场中传播时，距离点声源为  $r_1$  和  $r_2$  两点之间的声压级差值为：

$$L_{p1} - L_{p2} = 20 \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (1-15)$$

从上式可以看出，距离增大一倍时，声压级减小 6 dB；距离增大 10 倍时，衰减 20 dB；距离增大 100 倍时，衰减 40 dB。

对于线声源，若其长度  $l$  远大于传播距离，则有：

$$L_{p1} - L_{p2} = 10 \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (1-16)$$

这时，距离加倍时，声压级衰减 3 dB。对于面声源，可以认为是辐射平面波，平面波不随距离声源远近而变化。图 1.9 画出了距离不同时声压级的衰减特性。

图中点声源、线声源和面声源在离声源 1 m 处产生的声压级或噪声级都是 80 dB。

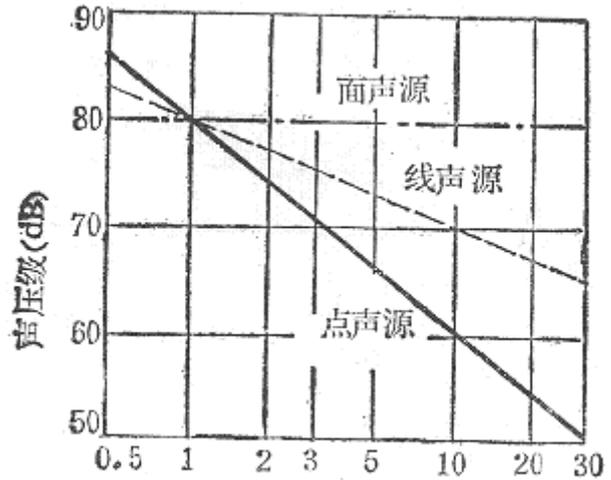


图 1.9 离声源不同距离时声压级的衰减特性

声波在大气中传播时，由于空气分子的粘滞性、热传导等引起的吸收，也会使声波衰减。衰减的大小与声波的频率、空气的温度、湿度有关（如表 1.3 所示）。频率越高，衰减越大。因此，我们在离飞机很远时，听到的主要是低频噪声，当飞机飞近我们时，听到的高频噪声就显著增加。

当声波遇到障碍物时，还会被障碍物吸收，这种现象称为吸声。吸声的作用视障碍物材料的不同而不同，一般来说，表面松软多孔的材料吸声性能较好，而坚硬平滑的材料吸声性能就差。为了衡量材料的吸声性能，用吸声系数  $\alpha$  来表示，它等于声波入射到材料表面被吸收的声能与入射声能之比值，即：

$$\alpha = \frac{E_{\text{吸}}}{E_{\lambda}} = \frac{E_{\lambda} - E_{\text{反}}}{E_{\lambda}} \quad (1-17)$$

式中： $E_{\lambda}$  是入射到材料上的声能； $E_{\text{吸}}$  是材料吸收的声能， $E_{\text{反}}$  是从材料上反射回去的声能。可以看出，若为全反射， $E_{\lambda} = E_{\text{反}}$ ，则  $\alpha = 0$ ；若是全吸声，则  $E_{\lambda} = E_{\text{吸}}$ ， $\alpha = 1$ 。一般材料的吸声系数在 0 - 1 之间，吸声材料在建筑声学 and 噪声控制等方面应用很广，在自然界，花草、树木、积雪等都有一定的吸声效果。

表 1.3 常用材料的吸声系数

材料名称	厚度 (cm)	密度 $\text{kg/m}^3$	不同频率下的吸声系数					
			125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
坚硬墙面上抹灰			0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03
木丝板	4		0.19	0.20	0.48	0.79	0.42	0.70
纸板、软木屑板	2.5	260	0.05	0.11	0.25	0.63	0.70	0.77
棉絮	2.5	10	0.03	0.07	0.15	0.30	0.62	0.60
聚氨酯泡沫塑料	4	45	0.10	0.19	0.36	0.70	0.75	0.80
超细玻璃棉	5	20	0.10	0.35	0.85	0.85	0.86	0.86

## 1.6 声源辐射的近场区和远场区

媒质中有声波存在的区域称声场。

如果媒质是均匀、各向同性的，并且范围足够大，以至于边界的影响可以忽略不计，也没有任何

障碍物的影响，这样的声场称自由声场。

声源是某种类型的振动源。当声源在自由声场中向周围媒质辐射声波时，声场中任何一点的声压是声源表面各点的振动辐射对这一点叠加的结果。在离开声源表面很近的区域，表面各点的振动传播到某点的声压的振幅和位相有很大的差别，接收点的位置稍差一点，叠加的声压可能有较大不同。最重要的一个特点，是在很靠近振动表面的区域内，声压的瞬时值与质点振动的瞬时速度之间的相位不同。这个区域称为声源辐射的近场区。在离声源较远的区域，瞬时声压与质点振动瞬时速度的位相相同，称为远场区。

远场区与近场区的声场特性有很大的不同，很重要的问题是如何判断近场区与远场区的分界？这是比较复杂的，对不同形状的声源，有不同的辐射特性。对于形状最为简单的平面圆形活塞声源，假定活塞直径为  $d$ ，安装在无限大的平面上，经过计算，当传播距离  $r$  满足下面条件时：

$$\begin{cases} r \gg d \\ r \geq d^2 / \lambda \end{cases} \quad (1-18)$$

可近似为远场区。式中  $\lambda$  是声波波长。对于其它形状的声源，远场条件的表示式要复杂些，但大致上都可按式 (1.18) 来估计。式中  $d$  可理解为声源的线度，即要传播距离甚大于声源线度，实际上只要  $r > d$  即可近似满足； $r \geq d^2 / \lambda$  的条件说明远场条件与频率有关，频率高即波长短的声波，在更远距离处才满足远场条件。

在任何封闭声场中，也存在近场和远场。在最靠近声源处是近场，这里声源的线度尺寸影响很大；远场由两部分组成，离声源稍近的是自由场，这里直达声是主要的，没有反射表面干扰它的传播；远离声源部分是混响场，这里混响声是主要的，它是由大量从各个方向的反射声波组成，场内的平均能量密度是相同的。(图 1.10)

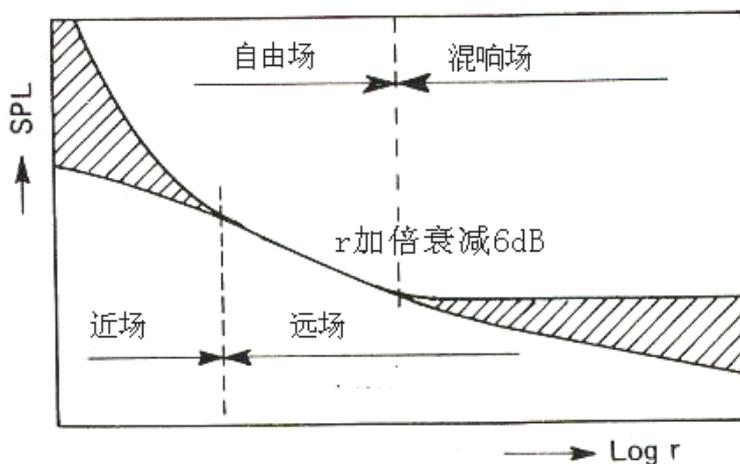


图 1.10 房间中声压的变化

一般声学测量都在远场条件下进行，因为在近场区声压随位置变化很大，变化规律也很复杂，并且声压与质点振动速度不同相，难以从测得的声压值计算声强。当然，在特殊情况下，也有利用近场条件进行声学测量（例如在传声器和电话机电声特性测量时），这一点有专门说明。

## 2 噪声及其危害

### 2.1 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：

$$p=P \sin (\omega t+\theta) \quad (2-1)$$

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

如1000 Hz声音就是指频率为1000 Hz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”，粉红噪声是在等比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2.1a），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2.1b），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2.1c），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

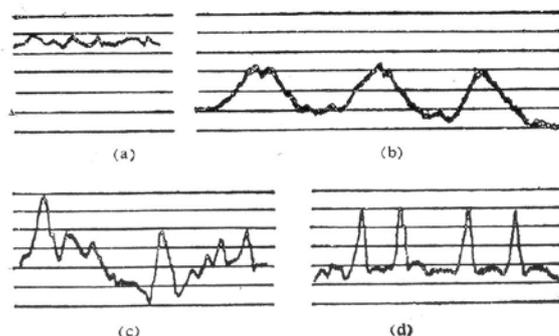


图 2.1 噪声的时间特性

间间隔大于1s，则称为脉冲声（图2.1d），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90~106 dB，机械工业在80~120 dB，大型球磨机、大型鼓风机在130 dB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。

## 2.2 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1000 Hz以上，这种噪声我们称之为高频噪声。有的机器低频的声音多一些，如空压机、汽车，辐射的噪声低沉有力，其主要噪声频率多在500 Hz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500-1000 Hz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因为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2-2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2.2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（-3 dB）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6 Hz、10 Hz；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707 Hz~1414 Hz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。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。

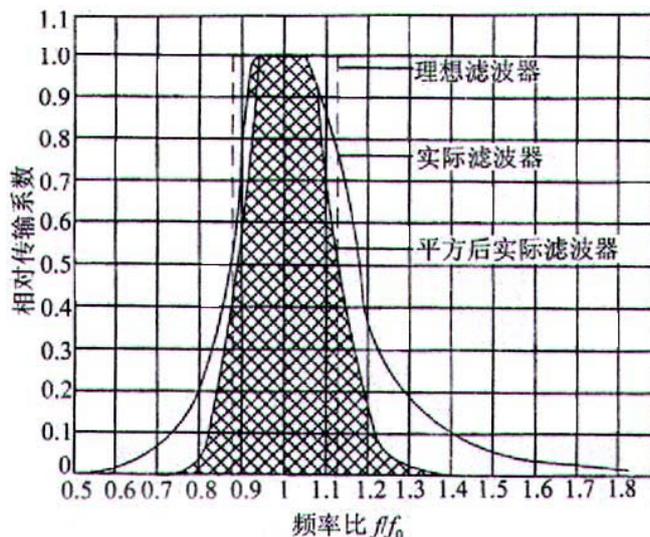


图2-2 滤波器的幅度频率特性

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 $f_0$ ：

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2} \quad (2-2)$$

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2.1。由表可以看出十个倍频程包括了声频的整个频率范围。

表2.1 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2.3和图2.4分别画出两种机器的倍频带和1/3倍频带噪声频谱。

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。

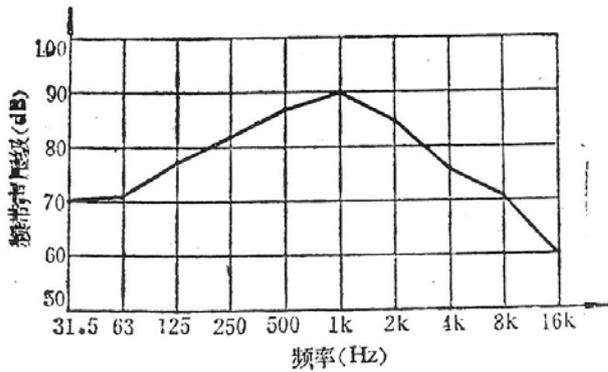


图2.3 空气压缩机噪声频谱（倍频程）

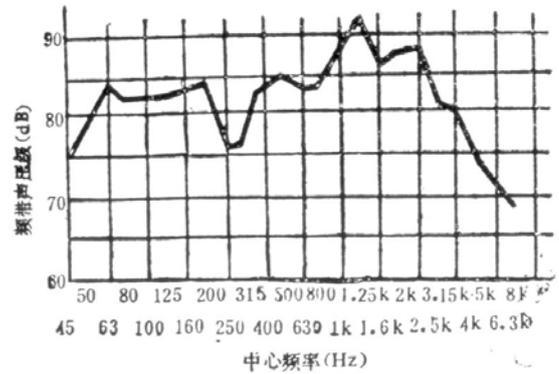


图2.4 离心鼓风机噪声频谱（1/3倍频程）

## 2.3 噪声的危害

### (1) 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，双耳嗡嗡，一般令听力损失15 dB。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、2000 Hz三个倍频程内听阈提高的平均值在25 dB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85 dB（A）环境下工作15年，发病率为5%。90 dB为14%。105 dB则达50%以上。如达到120 dB，即使短时间也会造成永久性听力损伤。当达到140 dB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。

### (2) 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。

### (3) 噪声对正常生活和工作的干扰

1) 影响睡眠。40 dB (A) 连续噪声使10 %的人睡眠受到影响，70 dB (A) 影响50 %。突发噪声40 dB (A)，可使10 %的人惊醒，60 dB可使70 %的人惊醒。我国大城市的交通噪声 (70~85 dB)、火车噪声 (75 dB)、飞机噪声 (95~120 dB)、工厂噪声 (60~70 dB)、建筑施工噪声 (80~90 dB)，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70 dB，大声可达85 dB，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10 dB以上时，谈话声完全被掩蔽。一般65 dB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90 dB，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。

### (4) 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135 dB时，会使电子仪器发生故障；超过150 dB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140 dB，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。

## 3 噪声的评价

### 3.1 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1000 Hz的某一强度（例如40 dB）的声音为基准，用人耳试听的办法与其它频率（例如100 Hz）声音进行比较，调节此声音的声压级，使它与1000 Hz声音听起来响度相同，记下此频率的声压级（例如50 dB）。再用其它频率试验并记下它们与1000 Hz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1000 Hz、40 dB声压级等响的曲线。这条曲线用1000 Hz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1000 Hz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3.1。

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1000 Hz声音来说声压级是40 dB，对100 Hz声音是50 dB，对40 Hz声音是70 dB，对20 Hz声音是90 dB。

（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3000~4000 Hz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

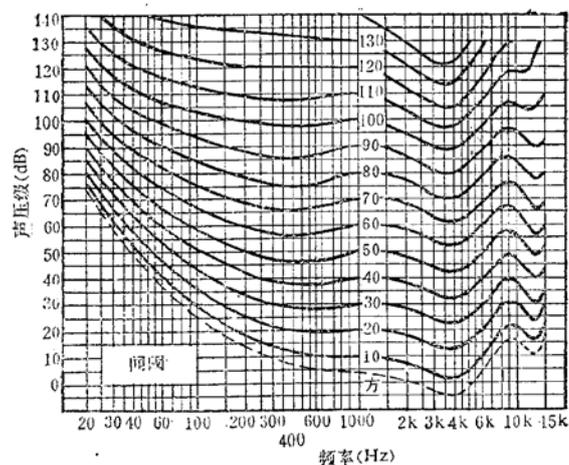


图 3.1 等响度曲线

增加一倍，如50 方为2 宋，60 方为 4宋等。其表示式为：

$$S = 2^{\frac{L_N - 40}{10}} \quad (\text{宋}) \quad (3-1)$$

或

$$\lg S = 0.03 (L_N - 40) \quad (3-2)$$

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（3-1）和（3-2）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。

### 3.2 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。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（1000 Hz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3.2。目前B和D计权已不再使用，GB3785.1-2010/IEC61672-1：2002只规定了A、C及Z(不计权)频率计权相对响应及允许误差。

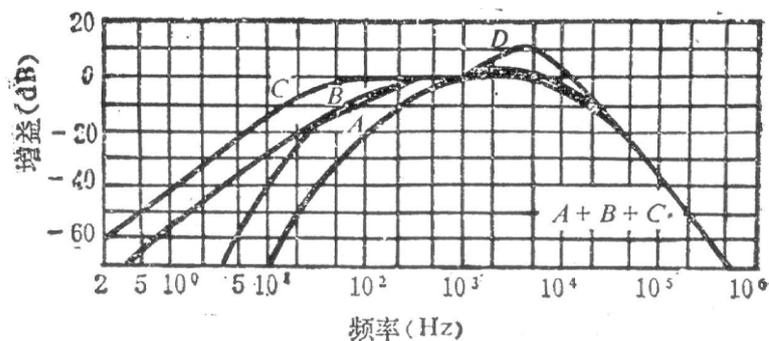


图3.2 频率计权相对响应曲线

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70 dB（C）或C声级70

dB。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 $L_{A\tau}(t)$ 用下式表示：

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

式中： $\tau$ ——时间计权 F 或 S 的指数时间常数，s；

$\xi$ ——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；

$p_A(\xi)$ ——A 计权瞬时声压；

$p_0$ ——基准声压。

在公式 (3-3) 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 (3-3) 的表达过程可用图 3.3 的示意图说明。

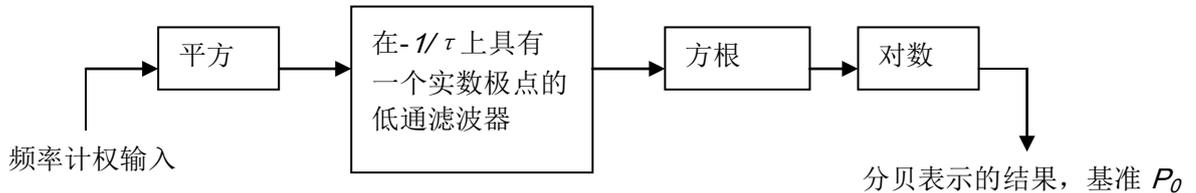


图 3.3 形成指数时间计权声级的主要步骤

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70 dB时用A网络测量，声级大于70 dB但小于90 dB时用B网络测量，声级大于90 dB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。B声级基本上不用了，C声级只作为可听声范围的总声压级的读数来使用，有时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。表3.2列了几种常见声源的A声级。

表3.2 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7 dB，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3.2中，它的响应

特性对应于倒置的40 呐等噪度曲线（见图3.6）。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。

### 3.3 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75 dB，但当没有汽车通过时可能只有50 dB，这时就很难说交通噪声是75 dB还是50 dB。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：

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

$$= 10 \lg \left( \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1L_A} dt \right) \quad (3-4)$$

式中： $p_A(t)$ 是瞬时A计权声压； $p_0$ 是参考声压（ $2 \times 10^{-5}$  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：

$$L_{eq} = 10 \lg \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_{Ai}} \right) \quad (3-5)$$

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。

### 3.4 昼夜等效声级 $L_{dn}$

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10 dB。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24 h的等效声级时，要对夜间的噪声加上10 dB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：

$$L_{dn} = 10 \lg_{10} \left[ \frac{1}{24} \left( 16 \times 10^{L_d/10} + 8 \times 10^{(L_n+10)/10} \right) \right] \quad (3-6)$$

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）。

### 3.5 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：

$$L_{AE} = 10 \lg \left[ \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad (3-7)$$

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3.4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10 dB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：

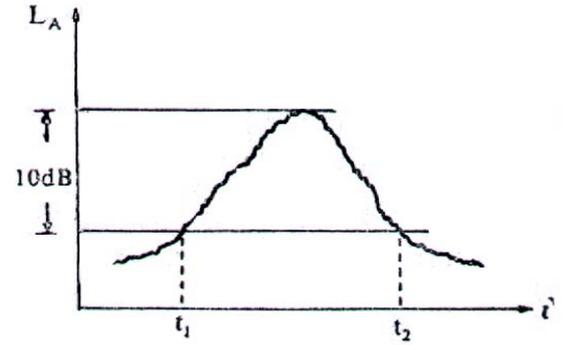


图3.4 单次噪声事件

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left[ \frac{t_0}{T} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_{AEi}} \right] \quad (3-8)$$

### 3.6 噪声暴露量E（噪声剂量DI）

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<sup>2</sup>·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：

$$E = \int_0^T [p_A(t)]^2 dt \quad (3-9)$$

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：

$$E = p_A^2 T \quad (3-10)$$

1  $\text{Pa}^2 \cdot \text{h}$ 相当于84.95  $\approx$  85 dB声级暴露了8 h，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8 h，噪声声级不得超过85 dB，相应的噪声暴露量为1  $\text{Pa}^2 \cdot \text{h}$ 。如果工人每天工作4 h，允许噪声声级增加3 dB，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：

$$L_{eq} = \left( 10 \lg \frac{E}{T p_0^2} \right) \text{dB} \quad (3-11)$$

有的国家将噪声暴露量用噪声剂量 $DI$ 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。

### 3.7 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70 dB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5 s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：

$$L_{eq} = L_{50} + \frac{d^2}{60} \quad (3-12)$$

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。

### 3.8 交通噪声指数 $TNI$

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 $\text{dB(A)}$ ，其数学表达式为：

$$TNI = L_{90} + 4d - 30, \quad d = L_{10} - L_{90} \quad (3-13)$$

$d$ 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。

### 3.9 标准偏差 $SD$ 和噪声污染级 $NPL$

标准偏差 $SD$ （或 $\sigma$ ）也可表示噪声起伏大小：

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\overline{L_A} - L_{Ai})^2} \quad (3-14)$$

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：

$$NPL = L_{eq} + 2.56\sigma \quad (\text{dB}) \quad (3-15)$$

在正态分布条件下，噪声污染级可用累积百分声级来表示：

$$NPL = L_{50} + d + \frac{d^2}{60} \quad (\text{dB}) \quad (3-16)$$

### 3.10 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3.5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NR。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85 dB，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和2000 Hz三个倍频带。我国的环境噪声标准中，对于结构传播固定设备环境噪声采用 $NR=L_A-10$ ，即如 $L_A$ 标准为40 dB，即相当于N-30，由N-30曲线即可知各倍频带声压级的允许标准。

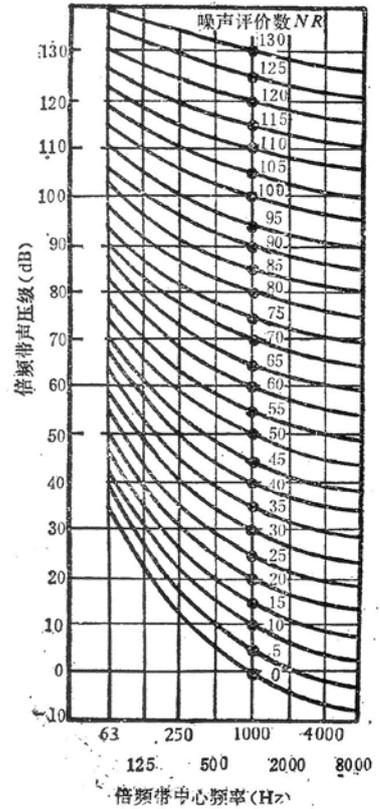


图 3.5 噪声评价曲线

### 3.11 感觉噪声级 $L_{PN}$ 和噪度NT

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3.6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40 dB、中心频率为1000 Hz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。

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3.6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：

$$NT = N_m + F \left( \sum_{i=1}^n N_i - N_m \right) \quad (3-17)$$

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3.6或按下式，将总噪度化为感觉噪声级：

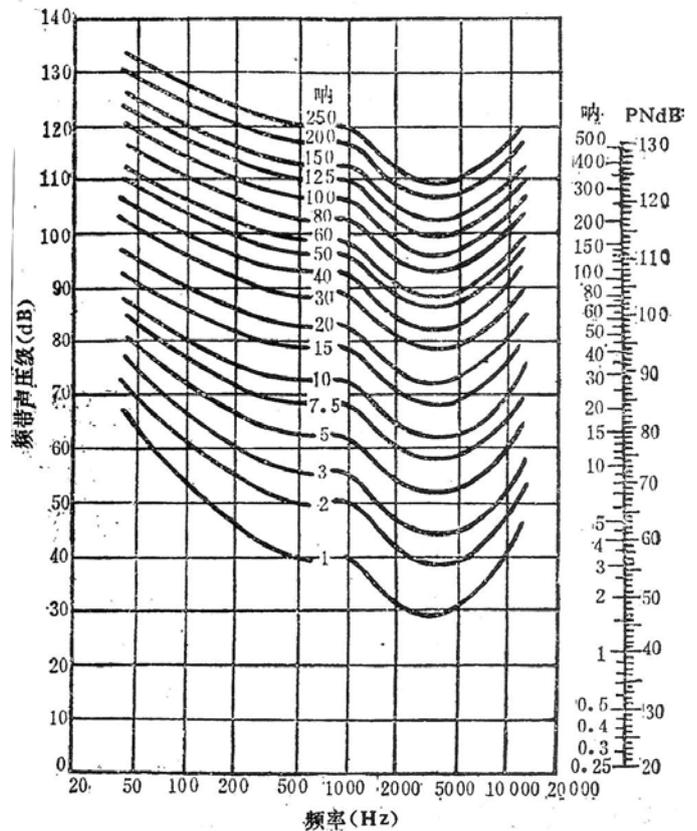


图 3.6 等噪度曲线和感觉噪声级的换算

$$L_{PN}=40+33.3 \lg NT(\text{PNdB}) \quad (3-18)$$

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7 dB，就得到感觉噪声级PNdB。例如某飞机的D计权噪声级 $L_p=130$  dB，则其感觉噪声级 $L_{PN}$ 为137 (PNdB)，这就大大简化了测量和计算。

## 4 环境噪声允许标准

### 4.1 我国《声环境质量标准》(GB3096-2008)

标准规定了五类声环境功能区(包括城市和乡村)的环境噪声限值及测量方法,适用于声环境质量评价与管理。但是机场周围区域受飞机通过(起飞、降落、低空飞越)噪声的影响,不适用于本标准。

按区域的使用功能特点和环境质量要求,声环境功能区分为以下五种类型:

0 类声环境功能区:指康复疗养区等特别需要安静的区域。

1 类声环境功能区:指以居民住宅、医疗卫生、文化教育、科研设计、行政办公为主要功能,需要保持安静的区域。

2 类声环境功能区:指以商业金融、集市贸易为主要功能,或者居住、商业、工业混杂,需要维护住宅安静的区域。

3 类声环境功能区:指以工业生产、仓储物流为主要功能,需要防止工业噪声对周围环境产生严重影响区域。

4 类声环境功能区:指交通干线两侧一定距离之内,需要防止交通噪声对周围环境产生严重影响的区域,包括 4a 类和 4b 类两种类型。4a 类为高速公路、一级公路、二级公路、城市快速路、城市主干路、城市次干路、城市轨道交通(地面段)、内河航道两侧区域;4b 类为铁路干线两侧区域。

各类声环境功能区适用下表规定的环境噪声等效声级限值。

表4.1 各类声环境功能区环境噪声等效声级限值 单位: dB (A)

声环境功能区类别		昼 间	夜 间
0 类		50	40
1 类		55	45
2 类		60	50
3 类		65	55
4 类	4a 类	70	55
	4b 类	70	60

各类声环境功能区夜间突发噪声,其最大声级超过环境噪声限值的幅度不得高于15 dB (A)。

表中 4b 类声环境功能区环境噪声限值,适用于 2011年 1 月 1 日起环境影响评价文件通过审批的新建铁路(含新开廊道的增建铁路)干线建设项目两侧区域;

对于穿越城区的既有铁路干线,以及对穿越城区的既有铁路干线进行改建、扩建的铁路建设项目,铁路干线两侧区域不通过列车时的环境背景噪声限值,按昼间 70 dB (A)、夜间 55dB (A) 执行。既有铁路指2010年12月31日前已建成运营的铁路或环境影响评价文件已通过审批的铁路建设项目。

#### 4.2 工业企业厂界环境噪声排放标准（GB12348-2008）

标准规定了工业企业和固定设备厂界环境噪声排放限值及其测量方法。适用于工业企业噪声排放的管理、评价及控制。机关、事业单位、团体等对外环境排放噪声的单位也按本标准执行。

工业企业厂界环境噪声不得超过表4.2规定的排放限值。

表4.2 工业企业厂界环境噪声排放限值 单位：dB(A)

厂界外声环境功能区类别	昼 间	夜 间
0	50	40
1	55	45
2	60	50
3	65	55
4	70	55

夜间频发噪声的最大声级超过限值的幅度不得高于 10 dB (A)。夜间偶发噪声的最大声级超过限值的幅度不得高于 15 dB (A)。

工业企业若位于未划分声环境功能区的区域，当厂界外有噪声敏感建筑物时，由当地县级以上人民政府参照 GB 3096 和 GB/T 15190 的规定确定厂界外区域的声环境质量要求，并执行相应的厂界环境噪声排放限值。

当厂界与噪声敏感建筑物距离小于1 m时，厂界环境噪声应在噪声敏感建筑物的室内测量，并将表4.2中相应的限值减 10 dB(A)作为评价依据。

当固定设备排放的噪声通过建筑物结构传播至噪声敏感建筑物室内时，噪声敏感建筑物室内等效声级不得超过表 4.3 和表 4.4 规定的限值。

表 4.3 结构传播固定设备室内噪声排放限值（等效声级） 单位: dB(A)

噪声敏感建筑物所处声环境功能区类别	A类房间		B类房间	
	昼 间	夜 间	昼 间	夜 间
0	40	30	40	30
1	40	30	45	35
2、3	45	35	50	40

说明：A类房间是指以睡眠为主要目的，需要保证夜间安静的房间，包括住宅卧室、医院病房、宾馆客房等。  
B类房间是指主要在昼间使用，需要保证思考与精神集中、正常讲话不被干扰的房间，包括学校教室、会议室、办公室、住宅中卧室以外的其他房间等。

表 4.4 结构传播固定设备室内噪声排放限值（倍频带声压级） 单位: dB

噪声敏感建筑所处声环境功能区类别	时段	倍频程中心频率, Hz	室内噪声倍频带声压级限值				
			31.5	63	125	250	500
0	昼间	A、B类房间	76	59	48	39	34
	夜间	A、B类房间	69	51	39	30	24
1	昼间	A类房间	76	59	48	39	34
		B类房间	79	63	52	44	38
	夜间	A类房间	69	51	39	30	24
		B类房间	72	55	43	35	29
2、3、4	昼间	A类房间	79	63	52	44	38

		B 类房间	82	67	56	49	43
	夜间	A 类房间	72	55	43	35	29
		B 类房间	76	59	48	39	34

#### 4.3 社会生活环境噪声排放标准（GB 22337—2008）

标准规定了营业性文化娱乐场所和商业经营活动中可能产生环境噪声污染的设备、设施边界噪声排放限值和测量方法。适用于对营业性文化娱乐场所、商业经营活动中使用的向环境排放噪声的设备、设施的管理、评价与控制。

社会生活噪声排放源边界噪声不得超过表4.5 规定的排放限值。

表4.5 社会生活环境噪声排放限值 单位: dB(A)

边界外声环境功能区类别	昼 间	夜 间
0	50	40
1	55	45
2	60	50
3	65	55
4	70	55

在社会生活噪声排放源边界处无法进行噪声测量或测量的结果不能如实反映其对噪声敏感建筑物的影响程度的情况下，噪声测量应在可能受影响的敏感建筑物窗外 1m 处进行。当社会生活噪声排放源边界与噪声敏感建筑物距离小于1 m时，应在噪声敏感建筑物的室内测量，并将表中相应的限值减 10 dB(A)作为评价依据。

在社会生活噪声排放源位于噪声敏感建筑物内情况下，噪声通过建筑物结构传播至噪声敏感建筑物室内时，噪声敏感建筑物室内等效声级不得超过表4.6和表4.7规定的限值。

表 4.6 结构传播固定设备室内噪声排放限值（等效声级） 单位: dB(A)

噪声敏感建筑物所处功能区类别	A类房间		B 类房间	
	昼 间	夜 间	昼 间	夜 间
0	40	30	40	30
1	40	30	45	35
2、3	45	35	50	40

说明：A 类房间是指以睡眠为主要目的，需要保证夜间安静的房间，包括住宅卧室、医院病房、宾馆客房等。  
B 类房间是指主要在昼间使用，需要保证思考与精神集中、正常讲话不被干扰的房间，包括学校教室、会议室、办公室、住宅中卧室以外的其他房间等。

表 4.7 结构传播固定设备室内噪声排放限值（倍频带声压级） 单位: dB(A)

噪声敏感建筑所处声环境功能区类别	时段	倍频程中心频率, Hz	室内噪声倍频带声压级限值				
			31.5	63	125	250	500
0	昼间	A、B 类房间	76	59	48	39	34
	夜间	A、B 类房间	69	51	39	30	24
1	昼间	A 类房间	76	59	48	39	34
		B 类房间	79	63	52	44	38
	夜间	A 类房间	69	51	39	30	24

		B 类房间	72	55	43	35	29
2、3、4	昼间	A 类房间	79	63	52	44	38
		B 类房间	82	67	56	49	43
	夜间	A 类房间	72	55	43	35	29
		B 类房间	76	59	48	39	34

对于在噪声测量期间发生非稳态噪声（如电梯噪声等）的情况，最大声级超过限值的幅度不得高于 10 dB (A)。

#### 4.4 建筑施工场界环境噪声排放限值（GB12523-2011）

表4.8 建筑施工场界环境噪声排放限值

单位：dB(A)

昼间	夜间
70	55

夜间噪声最大声级超过限值的幅度不得高于15 dB (A)。

当场界距噪声敏感建筑物较近，其室外不满足测量条件时，可在噪声敏感建筑物室内测量，并将表4.8中相应的限值减10 dB (A) 作为评价依据。

#### 4.5 铁路边界噪声限值（GB12525-90，环境保护部2008年 第38号公告修改）

既有铁路边界铁路噪声按表4.9的规定执行。既有铁路是指2010年12月31日前已建成运行的铁路或环境影响评价文件已通过审批的铁路建设项目。

表4.9 既有铁路边界铁路噪声限值（等效声级 $L_{eq}$ ）

时段	噪声声级（单位：dB (A)）
昼间	70
夜间	70

改扩建既有铁路，铁路边界铁路噪声按表4.8的规定执行。

新建铁路（含新开廊道的增建铁路）便捷铁路噪声按表4.10的规定执行。新建铁路是指2011年1月1日起环境影响评价文件通过审批的铁路建设项目（不包括改、扩建既有铁路建设项目）。

表4.10 新建铁路边界铁路噪声限值（等效声级 $L_{eq}$ ）

时段	噪声声级（单位：dB (A)）
昼间	70
夜间	60

#### 4.6 机场周围飞机噪声环境标准（GB 9660-88）

适用于机场周围受飞机通过所产生噪声影响的区域，采用一昼夜的计权等效连续感觉噪声级作为评价量，用  $L_{WECPN}$ 表示：单位为dB。标准值和适用区域见表4.11。

表4.11 机场周围飞机噪声环境标准  $L_{WECPN}$ : 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。

这里是户外允许噪声级，测点要选在户外平坦开阔的地方，传声器高于地面1.2 m，离开其它反射壁面1.0 m以上

#### 4.7 城市港口及江河两岸区域环境噪声标准（GB11339-89）

表4.12 城市港口及江河两岸区域环境噪声标准  $L_{eq}$ : [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。

#### 4.8 汽车定置噪声限值(GB 16170-1996)

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。

表4.13 汽车定置噪声限值 [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
轿 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	$nr \leq 4300/\text{min}$	94	92
		$nr \geq 4300/\text{min}$	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	$N \leq 147\text{kW}$		101	99
	$N \geq 147\text{kW}$		105	103

注：nr-汽车油缸转速；N-汽车牵引功率。

#### 4.9 城市轨道交通引起建筑物二次辐射噪声限值（JGJ/T 170-2009）

要求测量频率范围 16 Hz~200 Hz 的室内二次辐射噪声，其等效连续 A 声级的限值如下表：

表 4.14 轨道交通引起建筑物二次辐射噪声限值（dB）

区域	昼间	夜间
0类	38	35
1类	38	35
2类	41	38
3类	45	42
4类	45	42

## 5 环境噪声测量仪器的选用

### 5.1 噪声测量仪器的工作原理

噪声测量仪器的最常用仪器是声级计。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，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。

声级计按功能可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。目前新设计的声级计往往会同时拥有多种功能，也常称为多功能声级计。

根据最新声级计国家标准GB/T 3785-1：2010和国家计量检定规程JJG 188-2002，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 $\pm 0.7$  dB。2级声级计的准确度 $\pm 1$  dB（不考虑测量不确定度）。

声级计构造及工作原理见下图，它通常有以下几部分组成：

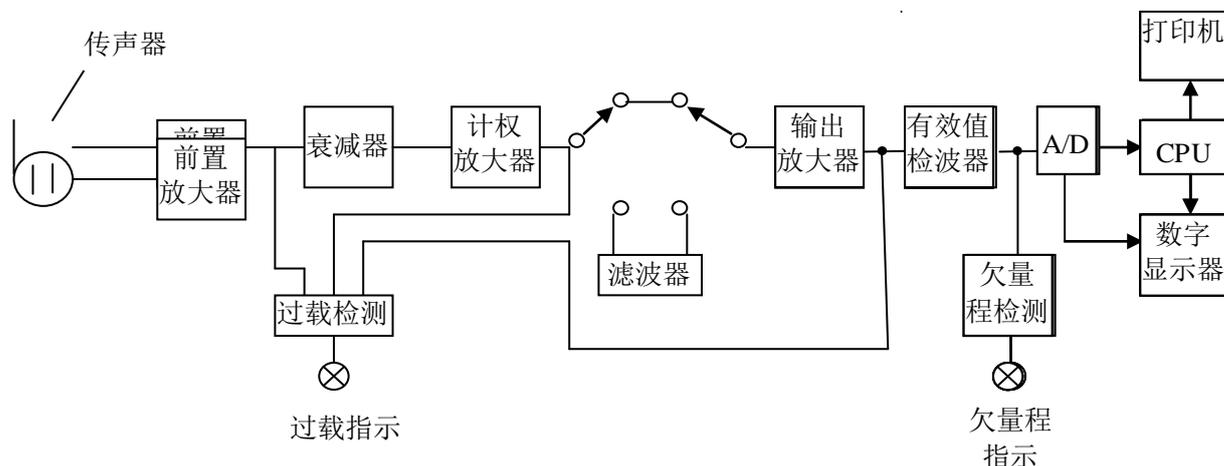


图 5.1 声级计构造及工作原理

① 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。一般测试电容传声器都需加极化电压才能正常工作，但是，现在预先驻有电荷的予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。

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

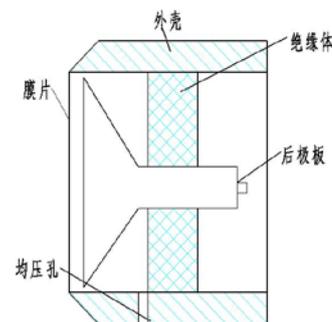


图 5.2 测试电容传声

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5.3示出1英寸自由场响应电容传声器的声压和自由场灵敏度频响曲线。它们在1 kHz以下是相同的而且基本平直，1 kHz以上则响应不同。

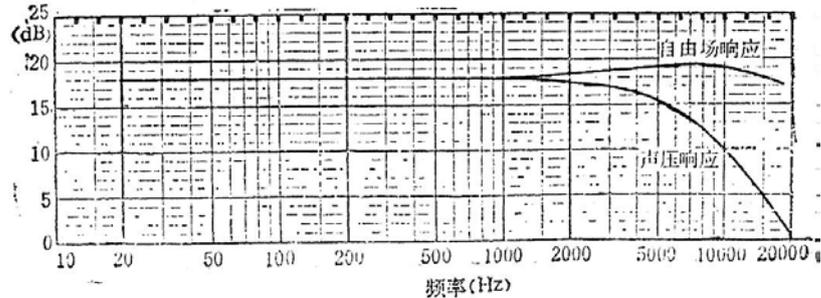


图5.3 1英寸自由场响应电容传声器的频响曲线

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（如美国）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1 V/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50 mV/Pa，灵敏度级为-26 dB。传声器出厂时均提供它的灵敏度级以及相对于-26 dB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（ $\Phi 23.77$  mm）、1/2英寸（ $\Phi 12.7$  mm）、1/4英寸（ $\Phi 6.35$  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 $\Phi 13.2$  mm。

② 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3 pF，甚至0.5 pF。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。

另一种前置放大器是恒流源（ICP）放大器（如AWA14604型），它由恒流源供电，供电电流为2 mA~20 mA。使用该类放大器的好处是它将输出信号线和电源线合为一根线，这样就可以使用单根同轴电缆线和BNC插头座进行连接，并可连接长电缆。

③ 衰减器：将大的信号衰减，提高测量范围。

④ 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3.2。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）。

⑤ 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0.125 s，“S”特性

时间常数为1 s。在时间平均声级测量中，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“T”特性。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。新的声级计标准还规定可以有测量峰值C声级的功能，用它来评价脉冲噪声。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。在我公司产品中均已采用数字检波器专利技术，大大提高了动态范围和稳定性。

⑥ A/D：将模拟信号转换成数字信号，以便进行数字指示或送CPU进行计算、处理。

⑦ 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。以前采用电表作为模拟指示器，现已不采用。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AWA5636、AWA5661型声级计。

⑧ CPU：微处理器（单片机），对测量值进行计算、处理。

⑨ 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。

⑩ 打印机：打印测量结果，通常使用微型打印机。

## 5.2 积分声级计和噪声统计分析仪

积分声级计（又称积分平均声级计）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数据进行运算、处理，进一步在显示器上显示。为了测量统计声级，在积分声级计中增加测量累计百分声级功能和24小时监测功能，就称为噪声统计分析仪。

典型产品有AWA 5680型多功能声级计。

AWA 5680型多功能声级计是一种袖珍式智能声级计，使用数字检波器专利技术，级线性范围100 dB，测量过程中无需切换量程，使用方便。模块化设计，可包含积分声级计、噪声统计分析仪、个人声暴露计等功能。采用128×128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10个测量数据。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，SEL，E， $L_d$ ， $L_n$ ， $L_{dn}$ 等16个测量值以及组号，测量时间可以设定为手动、也可以从1 s到99 h任意设置或分档设置。既可进行常规单次测量，也可进行24 h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。该仪器功耗低，使用碱性电池可连续使用40小时以上；它还具有大容量存储功能，能储存2048组积分结果或1024组统计分析结果、40组24 h自动测量结果。这样平时只需将主机（仅0.3 kg重）带至现场测量，测量时数据自动储存在机内，测量结束后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。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。所配AH 40TS打印机既可单独打印数据，也可既打印数据又打印统计分布图、累计分布图或24 h分布图。尽管该仪器功能很多，但操作起来非常容易，人机界面友好。还可外置GSM无线数据传输



模块（选配），通过SMS(短信)将测量结果发到指定的手机或计算机上。整机性能符合GB/T 3785.1-2010/IEC 61672-2002对 2 级声级计的标准，也符合JJG 778-2005对 2 级噪声统计分析仪的要求。尤其工作温度范围为-10~+50，与1级仪器相同，更适合环境监测工作需要。

### 5.3 频谱分析仪和实时信号分析仪

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70%，1/3倍频程滤波器是23%。为了统一起见，GB/T 3241-2010（等同IEC 61260-1995）《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。

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，如以前的AWA6270<sup>+</sup>型噪声分析仪，是一种 1 级声学测试仪器。有不同硬件和软件模块组合。不同配置可以分别或同时进行倍频程、1/3倍频程谱分析和混响时间测量、环境噪声测量和24h自动监测，以及数据积分采集和机场噪声测量。

在信号频谱分析中，通过改变滤波器的中心频率对稳态信号进行频谱分析是完全适用的，虽然要花较多的时间。但对于瞬态信号的分析，就不一定合适了。这时应使用实时分析仪，它能同时在显示器上显示所有频带的声压级值，实时显示频谱变化，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。

数字信号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转换成数字序列信号后，按特殊设计运算公式进行运算，使输出的数字序列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运算规则为数字滤波器。

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。

杭州爱华仪器有限公司研制的AWA6228型多功能声级计是一种1级袖珍式实时信号分析仪器，采用数字信号处理技术，可对噪声信号进行快速测量与分析，实时分析速度47次/秒，A/D精度24位，100dB线性工作范围。可同时测量A、C、Z计权声压级和倍频带声压级，时间计权F、S、I、Peak C可并行工作。可测量噪声等效连续声级 $L_{eq}$ 与统计声级 $L_N$ （N为任意数）。显示器为128×128点阵式LCD，带背景光。测量结果可送打印机或计算机。使用4×LR6电池，可连续使用24小时以上。也可采用5V外部电源供电。仪器具有动态范围大、大容量存贮、科学回删、录音、U盘、读卡器等功能。模块化设计，用户可以根据需要选购相应的模块。还可选配内嵌GPS定位系统，测量噪声的同时，提供位置信息及测点运动速度；选配微型打印机，可现场打印测量结果；选配GSM无线数据

传输模块，可通过 SMS(短信)将测量结果发到指定的手机或计算机上。为了满足结构传播固定设备排放室内噪声测量要求，为该仪器特地加入“室内”测量界面（见图 5.6），在该界面用户可以按标准规定设定声环境功能区类别、昼间或夜间、A 类或 B 类房间，界面会自动显示相应的倍频带声压级和 A 声级噪声标准限值。测量时同时显示测量值、标准限值，并自动判定是否超过国标规定限值。这样使用者就不必再去查找标准限值来进行对照，使用更加方便。

AWA 6291 型实时信号分析仪也是采用数字信号处理技术的新一代噪声测量仪器，A、C、Z 三种并行（同时）的频率计权及 F、S、I 三种并行（同时）的时间计权，实时倍频程频谱分析，可以同时测量多种评价指标。AWA6291 型实时信号分析仪的软件包及测量项目：

- (1) 声级测量软件包，同时测量  $L_{PA}$ 、 $L_{PC}$ 、 $L_{PZ}$  三种频率计权声压级、等效连续声级  $L_{eq}$  与统计声级  $L_N$ （N 为任意数）、24 小时自动监测；适用于环境噪声测量和一般声学测量。
- (2) 倍频程分析软件包，同时测量并显示 11 个倍频带声压级，滤波器中心频率：16 Hz，31.5 Hz，63 Hz，125 Hz，250 Hz，500 Hz，1 kHz，2 kHz，4 kHz，8 kHz，16 kHz。
- (3) 1/3 倍频程分析软件包，同时测量并显示 33 个 1/3 倍频带声压级，滤波器中心频率：10 Hz~20kHz。
- (4) FFT 分析软件包，512 线实时 FFT 分析。测量瞬时值、1 秒积分值、积分值、最大值保持。
- (5) 机器振动测量软件包，同时测量机器振动的加速度、速度和位移（振幅）和 FFT 分析。
- (6) 人体振动测量软件包，按 ISO 8041：2005 标准，测量人体全身振动和手臂振动。



图 5.5 实时信号分析仪

准备	
Is=00h10m00s	Rang: L
类型: 3/D/B	限值 结论
31.5=	49.8 82
63Hz=	48.5 67
125=	42.6 56
250=	39.4 49
500=	38.1 43
$W_A$ =	41.8 50
噪声	OCT 室内 Lp

图 5.6 结构传输设备噪声测量界面

以上两种仪器都较好满足新的环境噪声标准 GB 3096-2008《声环境质量标准》、GB 12348-2008《工业企业厂界噪声排放标准》、GB 22337-2008《社会生活环境噪声排放标准》中对测量仪器的要求。

#### 5.4 环境噪声自动监测系统

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。一个完整的环境噪声

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（如AWA6218S型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/T3785.1-2010对1级（或2级）声级计和积分声级计的要求，具有一定的测量范围（例如35~130 dB）和频率范围（例如20 Hz~16 kHz或31.5 Hz~8 kHz），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F（快）、S（慢）和I（脉冲）。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（如AWA6218J型环境噪声自动监测系统），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的测量结果经数据传输单元传输到中心站服务器。反过来，由中心站服务器再通过数据传输单元对终端进行控制。传输线路可以选用ADSL宽带通信、无线通信模块、局域网络传输或直接使用串口RS-232传输，它们各有优缺点，适用于不同的场合。目前较多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。

中心站的主控计算机没有特别的要求，一般的微型计算机，具有Windows XP系统软件即可。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 3096-2008《声环境质量标准》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。

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/T 9661-88）。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。这种监测甚至不需要专门进行传输与控制，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。噪声显示屏采用像素管作为显示器件，同时显示 $L_p$ 和10分钟 $Leq$ 。它还可以储存许多天数据，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。

## 5.5 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。为了能满足声学测量的校准要求，GB/T 15173 和 IEC 60942-2003《声校准器》标准，将声校准器的准确度等级分为LS级、1级、2级，LS级声校准器一般只在实验室中使用，而1级和2级声校准器为现场使用。1级声校准器主要与1级声级计配套使用，2级声校准器主要与2级声级计配套使用。

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 $\pm 0.15$  dB，可作为LS级声校准器。活塞发声器的缺点是随大气压的变化产生的声压级也会发生变化，如在高原西藏拉萨市（海拔3600米），它产生的声压级比一般平原地区要低3 dB左右，这就需要对大气压的变化进行修正，才能达到规定等级要求。另外，它的工作频率不能做得很高，通常是250 Hz，如果被校准仪器只有A频率计权，用它来校准就会有较大误差。

(2) 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1000 Hz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，而且它受大气压的影响与活塞发声器类似，也需要进行修正。

(3) 带声负反馈的声级校准器：这种声校准器如AWA6221A型声级校准器，由电路产生频率为1000 Hz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。同时由于参考传声器的灵

敏度不随大气压变化而变化，因此该声校准器产生的声压级不需要对大气压的变化进行修正，这是它的最大优点。该类校准器除产生94 dB声压外，还可以产生114 dB（或104 dB）声压级。

为了测量校准传声器和声级计的频率响应，有产生多个频率的声校准器，如我公司的AWA6223F型声校准器和B/K公司4226型多用途声校准器；为了测量和校准传声器和声级计的线性度，还有能产生多个声压的声校准器，如我公司的AWA6223S型声校准器。它们都是符合1级声校准器的要求，内置温度、湿度和气压传感器，不仅可测量环境温度、相对湿度和大气压力，还能自动修正气压对产生声压的影响。

## 5.6 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。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。

三、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2级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2 dB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。这种声级校准器在不同海拔高度使用应对气压影响进行修正，最好选用1级声校准器。

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。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。

六、声级计所用测试电容传声器的振膜只有5  $\mu\text{m}$ 厚度，在使用时应注意保护，轻拿轻放，不要随意打开传声器的保护罩，更要不要碰撞测试电容传声器。

七、手持仪器进行测量时，操作者应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。有条件可以将仪器放在三角架上或在前置放大器与主机之间加入延伸电缆。

## 6 环境噪声测量方法

关于环境噪声测量方法，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的相互比较。

### 6.1 声环境噪声测量方法（GB 3096-2008）

#### ①一般监测要求

1) 测量仪器：精度为2级及2级以上的积分平均声级计或环境噪声自动监测仪器，并定期校验。测量前后使用声校准器校准测量仪器的示值偏差不得大于0.5 dB，否则测量无效。声校准器应满足 GB/T 15173 对 1 级或 2 级声校准器的要求。测量时传声器应加防风罩。

2) 测点选择：可选择以下三种测点条件（指传声器所置位置）进行测量：

a) 一般户外：距离任何反射物（地面除外）至少 3.5 m 外测量，距地面高度 1.2 m 以上。必要时可置于高层建筑上，以扩大监测受声范围。使用监测车辆测量，传声器应固定在车顶部 1.2 m 高度处。

b) 噪声敏感建筑物户外：在噪声敏感建筑物外，距墙壁或窗户 1 m 处，距地面高度 1.2 m 以上。

c) 噪声敏感建筑物室内：距离墙面和其他反射面至少 1 m，距窗约 1.5 m 处，距地面 1.2 m~1.5 m 高。

3) 气象条件：测量应在无雨雪、无雷电天气，风速 5 m/s 以下时进行。

#### ② 监测类型与方法

##### 1) 声环境功能区监测

监测目的：评价不同声环境功能区昼间、夜间的声环境质量，了解功能区环境噪声时空分布特征。

(a) 定点监测法：选择能反映各类功能区声环境质量特征的监测点1至若干个，进行长期定点监测，每次测量的位置、高度应保持不变。对于0、1、2、3类声环境功能区，该监测点应为户外长期稳定、距地面高度为声场空间垂直分布的可能最大值处，其位置应能避开反射面和附近的固定噪声源；4类声环境功能区监测点设于4类区内第一排噪声敏感建筑物户外交通噪声空间垂直分布的可能最大值处。

声环境功能区监测每次至少进行一昼夜24小时的连续监测，得出每小时及昼间、夜间的等效声级  $L_{eq}$ 、 $L_d$ 、 $L_n$  和最大声级  $L_{max}$ 。用于噪声分析目的，可适当增加监测项目，如累积百分声级  $L_{10}$ 、 $L_{50}$ 、 $L_{90}$  等。监测应避开节假日和非正常工作日。

监测结果评价：各监测点位测量结果独立评价，以昼间  $L_d$  等效声级和夜间等效声级  $L_n$  作为评价各监测点位声环境质量是否达标的基本依据。一个功能区设有多个测点的，应按点次分别统计昼间、夜间的达标率。

全国重点环保城市以及其他有条件的城市和地区宜设置环境噪声自动监测系统，进行不同声环境

功能区监测点的连续自动监测。环境噪声自动监测系统主要由自动监测子站和中心站及通信系统组成，其中自动监测子站由全天候户外传声器、智能噪声自动监测仪器、数据传输设备等构成。

#### (b) 普查监测法

a) 0-3 类声环境功能区普查监测：监测要求：将要普查监测的某一类声环境功能区划分成多个等大的正方形，网格要完全覆盖住被普查的区域，且有效网格总数应多于 100 个。测点应设在每一个网格的中心，测点条件为一般户外条件。

监测分别在昼间工作时间和夜间 22:00—24:00（时间不足可顺延）进行。在前述测量时间内，每次每个测点测量 10 min 的等效声级 $L_{eq}$ ，同时记录噪声主要来源。监测应避开节假日和非正常工作日。

监测结果评价：将全部网格中心测点测得的 10 min 的等效声级 $L_{eq}$ 做算术平均运算，所得到的平均值代表某一类声环境功能区的总体环境噪声水平，并计算标准偏差。

根据每个网格中心的噪声值及对应的网格面积，统计不同噪声影响水平下的面积百分比，以及昼间、夜间的达标面积比例。有条件可估算受影响人口。

b) 4 类声环境功能区普查监测：监测要求：以自然路段、站场、河段等为基础，考虑交通运行特征和两侧噪声敏感建筑物分布情况，划分类别路段（包括河段）。在每个典型路段对应的4类区边界上（指4类区内无噪声敏感建筑物存在时）或第一排噪声敏感建筑物户外（指4类区内有噪声敏感建筑物存在时）选择1个测点进行噪声监测。这些测点应与站、场、码头、岔路口、河流汇入口等相隔一定的距离，避开这些地点的噪声干扰。

监测分昼、夜两个时段进行。分别测量如下规定时间内的等效声级 $L_{eq}$ 和交通流量，对铁路、城市轨道交通线路（地面段），应同时测量最大声级 $L_{Max}$ ，对道路交通噪声应同时测量累积百分声级 $L_{10}$ 、 $L_{50}$ 、 $L_{90}$ 。根据交通类型的差异，规定的测量时间为：

铁路、城市轨道交通（地面段）、内河航道两侧：昼、夜各测量不低于平均运行密度的 1 小时值，若城市轨道交通（地面段）的运行车次密集，测量时间可缩短至 20 min。

高速公路、一级公路、二级公路、城市快速路、城市主干路、城市次干路两侧：昼、夜各测量不低于平均运行密度的 20 min 值。

监测应避开节假日和非正常工作日。

监测结果评价：将某条交通干线各典型路段测得的噪声值，按路段长度进行加权算术平均，以此得出某条交通干线两侧 4 类声环境功能区的环境噪声平均值。

也可对某一区域内的所有铁路、确定为交通干线的道路、城市轨道交通（地面段）、内河航道按前述方法进行长度加权统计，得出针对某一区域某一交通类型的环境噪声平均值。

根据每个典型路段的噪声值及对应的路段长度，统计不同噪声影响水平下的路段百分比，以及昼间、夜间的达标路段比例。有条件可估算受影响人口。

对某条交通干线或某一区域某一交通类型采取抽样测量的，应统计抽样路段比例。

#### 2) 噪声敏感建筑物监测

(a) 监测目的：了解噪声敏感建筑物户外（或室内）的环境噪声水平，评价是否符合所处声环境功能区的环境质量要求。

(b) 监测要求：监测点一般设于噪声敏感建筑物户外。不得不在噪声敏感建筑物室内监测时，应在门窗全打开状况下进行室内噪声测量，并采用较该噪声敏感建筑物所在声环境功能区对应环境噪声限值低10 dB（A）的值作为评价依据。

对敏感建筑物的环境噪声监测应在周围环境噪声源正常工作条件下测量，视噪声源的运行工况，分昼、夜两个时段连续进行。根据环境噪声源的特征，可优化测量时间：

a) 受固定噪声源的噪声影响：稳态噪声测量1 min的等效声级  $L_{eq}$ ；非稳态噪声测量整个正常工作时间（或代表性时段）的等效声级  $L_{eq}$ 。

b) 受交通噪声源的噪声影响：对于铁路、城市轨道交通（地面段）、内河航道，昼、夜各测量不低于平均运行密度的1 h等效声级  $L_{eq}$ ，若城市轨道交通（地面段）的运行车次密集，测量时间可缩短至20 min。对于道路交通，昼、夜各测量不低于平均运行密度的20 min等效声级  $L_{eq}$ 。

c) 受突发噪声的影响：以上监测对象夜间存在突发噪声的，应同时监测测量时段内的最大声级  $L_{max}$ 。

(c) 监测结果评价：以昼间、夜间环境噪声源正常工作时段的  $L_{eq}$  和夜间突发噪声  $L_{max}$  作为评价噪声敏感建筑物户外（或室内）环境噪声水平，是否符合所处声环境功能区的环境质量要求的依据。

### 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50 m，长度不足100 m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）20 cm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：

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (6-1)$$

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值。

#### ④仪器推荐

##### 1) 定点监测法用仪器

推荐采用AWA5680、AWA6228型多功能声级计，这两种声级计均可以进行24小时的连续监测，测量每小时的 $L_{eq}$ 、 $L_{max}$ 、 $L_5$ 、 $L_{10}$ 、 $L_{50}$ 、 $L_{90}$ 、 $L_{95}$ 、 $L_{min}$ 、SD及 $L_d$ 、 $L_n$ 、 $L_{dn}$ 等。其中AWA5680为2级仪器，功耗特别低，采用碱性电池可以连续使用40小时。配上AWA2581型户外噪声监测箱、AWA8570短信模块可以组建一个临时户外自动监测系统。具有防水功能的户外监测箱内有后备电池、2 m延长杆、太阳能板。太阳能板可以利用太阳能对后备电池进行充电；后备电池可以对仪器、打印机、短信模块供电，方便野外工作；2 m延长杆可以方便的固定在户外监测箱上，并将传声器固定在2 m高度处；户外防护罩可以保护传声器不受雨淋，起到防风、防雨、防鸟停的作用；AWA8570短信模块可以将仪器每小时的测量结果及时发送到指定的手机上。



也可采用AWA6218J型噪声自动监测系统对不同声环境功能区监测点进行长年的连续自动监测，无需人员值守，远程监控及实时读取数据，可自动生成各种用户自定义报表，测量结果可以自动在互联网上发布。

##### 2) 普查监测法用仪器

推荐采用AWA5680、AWA6228型多功能声级计，这两种声级计均可测量1 min、10 min、20 min、1 h或整个工作时间的 $L_{eq}$ 、 $L_{max}$ 、 $L_5$ 、 $L_{10}$ 、 $L_{50}$ 、 $L_{90}$ 、 $L_{95}$ 、 $L_{min}$ 、SD。普查监测法的测点多，工作量大，建议AWA5680、AWA6228型多功能声级计配上GPS定位模块，有利于找到网格的中心，测量噪声的同时记录GPS定位信息，在计算机软件及GIS系统的配合下可以自动绘制噪声强度分布图、统计不同噪声影响水平下的面积百分比，以及昼间、夜间的达标面积比例，估算受影响人口。AWA6228的组名可以任意输入，建议采用网格名称输入组名，便于测量结果的管理。

##### 3) 可选的配附件

延长杆及延长电缆：在进行4类声环境功能区普查时需要在噪声敏感建筑物户外选择声场空间垂直分布的可能最大值处进行测量，此时可以用延长杆及延长电缆将传声器安装到指定位置，主机放在室内或地面上，方便操作。

三角架；测量时间较长时或为了减少人对测量的影响可以将仪器安装在三角架上。

## 6.2 工业企业厂界排放噪声测量方法（GB 12348-2008）

① 测量仪器：测量仪器为积分平均声级计或环境噪声自动监测仪，其性能应不低于对 2 型仪器的要求，测量 35 dB 以下的噪声应使用 1 型声级计。每次测量前、后必须在测量现场进行声学校准，其前、后校准示值偏差不得大于 0.5 dB，否则测量结果无效。当需要进行噪声的频谱分析时，仪器性能应符合 GB/T 3241 中对滤波器的要求。测量时传声器加防风罩。测量仪器时间计权特性设为“F”档，采样时间间隔不大于 1 s。

② 测量条件：测量应在无雨雪、无雷电天气，风速为 5 m/s 以下时进行。不得不在特殊气象条件下测量时，应采取必要措施保证测量准确性，同时注明当时所采取的措施及气象情况。测量应在被测声源正常工作时间进行，同时注明当时的工况。

③ 测点位置：根据工业企业声源、周围噪声敏感建筑物的布局以及毗邻的区域类别，在工业企业厂界布设多个测点，其中包括距噪声敏感建筑物较近以及受被测声源影响大的位置。一般情况下，测点选在工业企业厂界外 1 m、高度 1.2 m 以上、距任一反射面距离不小于 1 m 的位置。当厂界有围墙且周围有受影响的噪声敏感建筑物时，测点应选在厂界外 1 m、高于围墙 0.5 m 以上的位置。当厂界无法测量到声源的实际排放状况时（如声源位于高空、厂界设有声屏障等），除在厂界外 1 m、高度 1.2 m 以上、距任一反射面距离不小于 1 m 的位置设置测点外，同时在受影响的噪声敏感建筑物户外 1 m 处另设测点。室内噪声测量时，室内测量点位设在距任一反射面至少 0.5 m 以上、距地面 1.2 m 高度处，在受噪声影响方向的窗户开启状态下测量。

固定设备结构传声至噪声敏感建筑物室内，在噪声敏感建筑物室内测量时，测点应距任一反射面至少 0.5 m 以上、距地面 1.2 m、距外窗 1 m 以上，窗户关闭状态下测量。被测房间内的其他可能干扰测量的声源（如电视机、空调机、排气扇以及镇流器较响的日光灯、运转时发声的时钟等）应关闭。

④ 测量时段：分别在昼间、夜间两个时段测量。夜间有频发、偶发噪声影响时同时测量最大声级。被测声源是稳态噪声，采用 1 min 的等效声级。被测声源是非稳态噪声，测量被测声源有代表性时段的等效声级，必要时测量被测声源整个正常工作时段的等效声级。

⑤ 背景噪声测量和修正：测量环境不受被测声源影响且其他声环境与测量被测声源时保持一致。测量时段与被测声源测量的时间长度相同。噪声测量值与背景噪声值相差大于 10 dB(A)时，噪声测量值不做修正。噪声测量值与背景噪声值相差在 3 dB(A)~10 dB(A)之间时，噪声测量值与背景噪声值的差值取整后，按表 4 进行修正。噪声测量值与背景噪声值相差小于 3 dB(A)时，应采取措施降低背景噪声后，重新测试。如仍无法满足要求的，应按环境噪声监测技术规范的有关规定执行。

⑥ 测量结果评价：各个测点的测量结果应单独评价。同一测点每天的测量结果按昼间、夜间进行评价。最大声级  $L_{\max}$  直接评价。

⑦ 推荐仪器：AWA6228型多功能声级计或AWA6291型实时信号分析仪

AWA6228及AWA6291均为1级仪器，测量下限低，测量A声级的同时还可以实时测量16 Hz到16 kHz中心频率下的倍频带声压级，能完全满足标准对仪器的要求。AWA6228还可以选配GPS模块，测量噪声的同时可以测量定位信息，方便测点位置的确定；在卫星地图的配合下，可以分析声源位置及测点周围环境情况。当测点位置较高时，可以在前置级与主机之间加入延伸电缆。

### 6.3 社会生活噪声测量方法(GB 22337-2008)

① 测量仪器：测量仪器为不低于2级的积分平均声级计或环境噪声自动监测仪。测量 35 dB 以下的噪声应使用 1 级声级计，且测量范围应满足所测量噪声的需要。每次测量前、后必须在测量现场进行声学校准，其前、后校准示值偏差不得大于 0.5 dB，否则测量结果无效。当需要进行噪声的频谱分析时，仪器性能应符合 GB/T 3241 中对滤波器的要求。测量时传声器加防风罩。测量仪器时间计权特性设为“F”档，采样时间间隔不大于 1 s。

② 测量条件：测量应在无雨雪、无雷电天气，风速为 5 m/s 以下时进行。需在特殊气象条件下测量时，应采取必要措施保证测量准确性，同时注明当时所采取的措施及气象情况。测量应在被测声源正常工作时间进行，同时注明当时的工况。

③ 测点位置：根据社会生活噪声排放源、周围噪声敏感建筑物的布局以及毗邻的区域类别，在社会生活噪声排放源边界布设多个测点，其中包括距噪声敏感建筑物较近以及受被测声源影响大的位置。一般情况下，测点选在社会生活噪声排放源边界外 1 m、高度 1.2 m 以上、距任一反射面距离不小于 1 m 的位置。当边界有围墙且周围有受影响的噪声敏感建筑物时，测点应选在边界外 1 m、高于围墙 0.5 m 以上的位置。当边界无法测量到声源的实际排放状况时（如声源位于高空、边界设有声屏障等），除在厂界外 1 m、高度 1.2 m 以上、距任一反射面距离不小于 1 m 的位置设置测点外，同时在受影响的噪声敏感建筑物户外 1 m 处另设测点。

室内噪声测量时，室内测量点位设在距任一反射面至少 0.5 m 以上、距地面 1.2 m 高度处，在受噪声影响方向的窗户开启状态下测量。

社会生活噪声排放源的固定设备结构传声至噪声敏感建筑物室内，在噪声敏感建筑物室内测量时，测点应距任一反射面至少 0.5 m 以上、距地面 1.2 m、距外窗 1 m 以上，窗户关闭状态下测量。被测房间内的其他可能干扰测量的声源（如电视机、空调机、排气扇以及镇流器较响的日光灯、运转时出声的时钟等）应关闭。

④ 测量时段：分别在昼间、夜间两个时段测量。夜间有频发、偶发噪声影响时同时测量最大声级。被测声源是稳态噪声，采用 1 min 的等效声级。被测声源是非稳态噪声，测量被测声源有代表性时段的等效声级，必要时测量被测声源整个正常工作时段的等效声级。

⑤ 背景噪声测量和修正：

⑥ 测量结果评价：各个测点的测量结果应单独评价。同一测点每天的测量结果按昼间、夜间进行评价。最大声级  $L_{max}$  直接评价。

⑦ 推荐仪器：AWA6228型多功能声级计或AWA6291型实时信号分析仪

AWA6228及AWA6291均为1级仪器，测量下限低，测量A声级的同时还可以实时测量16 Hz到16

kHz中心频率下的倍频带声压级，能完全满足标准对仪器的要求。AWA6228还具有“室内”测量界面，直接显示5个倍频带及A计权的实测声压级、国家标准限值及是否超标，方便操作。

#### 6.4 铁路边界噪声测量方法（GB/T12525-90）

- ① 使用 2 型及以上积分声级计。
- ② 用“F”（快）档，采样间隔不大于1 s。
- ③ 气象条件：无雨雪、加风罩、4级风以上停止测量。
- ④ 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。
- ⑤ 测点选在铁路边界（距铁路外侧轨道中心线30 m处）高于地面1.2 m，距反射物不小于1 m处。
- ⑥ 测量1 h的 $L_{eq}$ 值。
- ⑦ 推荐仪器：AWA5680型多功能声级计或AWA6228型多功能声级计

#### 6.5 建筑施工场界噪声测量方法（GB12524-2011）

① 使用仪器：2级及以上积分平均声级计或噪声自动监测仪。测量时传声器加风罩，时间计权特性设为快(F)档。

② 气象条件：无雨雪、无雷电天气，风速为5 m/s以下时进行。

③ 测点布设：根据施工场地周围噪声敏感建筑物位置和声源位置的布局，测点应设在对噪声敏感建筑物影响较大、距离较近的位置。一般情况测点设在建筑施工场界外1 m，高度1.2 m以上的位置。当场界有围墙且周围有噪声敏感建筑物时，测点应设在场界外1 m，高于围墙0.5 m以上的位置，且位于施工噪声影响的声照射区域。当场界无法测量到声源的实际排放时，如声源位于高空、场界有声屏障、噪声敏感建筑物高于场界围墙等情况，测点可设在噪声敏感建筑物户外1 m处的位置。在噪声敏感建筑物室内测量时，测点位于室内中央、距室内任一反射面0.5 m以上、距地面1.2 m高度以上，在受噪声影响方向的窗户开启状态下测量。

④ 测量时段：施工期间，测量连续20 min的等效声级，夜间同时测量最大声级。

⑤ 背景噪声测量：测量环境不受声源影响且其他声环境与测量被测声源时保持一致。稳态噪声测量1 min的等效声级，非稳态噪声测量20 min的等效声级。

⑥ 推荐仪器：AWA5680型多功能声级计或AWA6228型多功能声级计，也可采用AWA6218J型噪声自动监测系统。采用AWA6218J型噪声自动监测系统时可以设定限值，当被测噪声超过限值时，系统自动进行录音，可用于对噪声事件的主观判断。

#### 6.6 机场周围飞机噪声测量方法（GB9661-88）

适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，包括三方面的内容，一是测量单个飞行事件引起的噪声，二是测量相继一系列飞行事件引起的噪声，三是在一段监测时间内测量飞行事件引起的噪声。

测量条件:

- ① 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。
- ② 传声器位置: 高于地面1.2 m, 离其它反射壁面1 m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, 即是掠入射。
- ③ 无雨、无雪, 地面上10 m高处风速不大于5 m/s, 相对湿度不应超过90 %, 不应小于30 %。
- ④ 要求测量的飞机噪声级最大值至少超过环境背景噪声级20 dB, 测量结果才被认为可靠。

单个飞行事件引起的噪声测量:

- 1) 精密测量——需要作为时间函数的频谱分析的测量。

标准规定要通过声级计将飞机噪声信号送到测量录音机记录在磁带上, 再在实验室按原速回放录音信号并对信号进行频谱分析。现在都可由实时信号分析仪来完成, 实时信号分析仪可以按不大于0.5 s 的时间间隔直接测量并记录飞机噪声的1/3 倍频带声压级, 再直接计算或将数据送到计算机由计算机计算感觉噪声级。计算时将50 Hz~10 kHz中24个频带的声压级 $L_{psi}$ , 换算成相应的噪度  $N_i$ , 再按下式计算总噪度  $N$ :

$$N = N_{\max} + 0.15 \left( \sum_{i=1}^{24} N_i - N_{\max} \right) (noy) \quad (6-2)$$

式中 $N_{\max}$ 是 $N_i$  中的最大值。

感觉噪声级 $L_{PN}$  按下式计算:

$$L_{PN} = 40 + 10(\lg N / \lg 2)(dB) \quad (6-3)$$

如果在频谱中有显著纯音成分要计算纯音修正值 $C$  (dB)。经纯音修正的感觉噪声级 $L_{TPN}$ 按下式计算:

$$L_{TPN} = L_{PN} + C(dB) \quad (6-4)$$

在一次飞行事件中找出经纯音修正的最大感觉噪声级 $L_{TPN_{\max}}$ 和在最大值 $L_{TPN_{\max}}$ 下10 dB的持续时间 $T_d$ ,一次飞行事件的有效感觉噪声级 $L_{EPN}$ 按下式计算:

$$L_{EPN} = 10 \lg \left[ (1/T_0) \left( \sum_{i=1}^n 0.5 \times 10^{L_{TPN_i}/10} \right) \right] (dB) \quad (6-5)$$

式中  $L_{TPN_i}$ 是 $T_d$ 时间内、0.5 s 间隔的  $L_{TPN}$ ,

$T_0 = 10$  s, 为标准时间

$n$  是实际持续时间  $T_d$  内的采样数。

等效持续时间 $T_e$  按下式计算:

$$T_e = \frac{\sum_{i=1}^n 0.5 \times 10^{L_{TPNi}/10}}{10^{L_{TPN \max}/10}} (s) \quad (6-6)$$

2) 简易测量——只需经频率计权的测量。

使用声级计读取一次飞行过程的 A 声级最大值 $L_{A\max}$ 或 D 声级最大值 $L_{D\max}$ ，以及在最大值 $L_{A\max}$ 或 $L_{D\max}$ 下 10 dB 的持续时间 $T_d$ ，再按下式计算有效感觉噪声级 $L_{EPN}$ ：

$$\begin{aligned} L_{EPN} &= L_{A\max} + 10\lg(T_d / 20) + 13 \\ &= L_{D\max} + 10\lg(T_d / 20) + 7(dB) \end{aligned} \quad (6-7)$$

相继一系列飞行事件引起的噪声测量：

一系列相继飞行事件的噪声级是  $N$  个有效感觉噪声级的能量平均值，对某一测点通过  $N$  次飞行事件的有效感觉噪声级的能量平均值 $\bar{L}_{EPN}$ ，按下式计算：

$$\bar{L}_{EPN} = 10\lg \left[ (1/N) \times \left( \sum_{i=1}^n 10^{L_{TPNi}/10} \right) \right] (dB) \quad (6-8)$$

在一段监测时间内测量飞行事件引起的噪声：

对一段监测时间内的连续噪声级用计权有效连续感觉噪声级  $L_{WECPN}$  表示，它既考虑了一段监测时间内通过一固定点的飞行引起的总噪声级，同时也考虑了不同时间内飞行所造成的不同社会影响。以一昼夜 24 h 定为单位监测时间， $L_{WECPN}$  按下式计算：

$$L_{WECPN} = \bar{L}_{EPN} + 10\lg(N_1 + 3N_2 + 10N_3) - 39.4(dB) \quad (6-9)$$

式中： $L_{EPN}$  是  $N$  次飞行的有效感觉噪声级的能量平均值；

$N_1$  是白天的飞行次数；

$N_2$  是傍晚的飞行次数；

$N_3$  是夜间的飞行次数。

这三段时间的具体划分由当地政府决定。

#### ⑤ 推荐仪器

1) 精密测量:选 AWA6228 型多功能声级计或 AWA6291 型实时信号分析仪，加上机场周围飞机噪声分析软件，或者选用 AWA6218J 型环境噪声自动监测系统。

AWA6228 或 AWA6291 可以在监测人员的控制下，记录每一架次飞机飞过 1/3 倍频程频带声压级随时间的变化，测量完毕后将数据转到计算机中，由机场周围飞机噪声分析软件对采集的数据进行分析，自动计算出每一架次的  $L_{EPN}$ 。AWA6218J 可以长期架设到机场周围，对每个飞行架次自动进行测量，计算出每一架次的  $L_{EPN}$ 、每天的  $L_{WECPN}$ 、每周的  $L_{WECPN}$ 。

2) 简易测量：选 AWA5680 型多功能声级计或 AWA6228 型多功能声级计，这两种仪器有机场周

围飞机噪声测量界面，监测人员在飞机过来时启动测量，在飞机过去时结束测量，仪器就可以自动测量出本架次的  $L_{EPN}$ 。如果 AWA6228 配上 SD 卡，就可以记录瞬时声级计随时间的变化，将这个文件送入机场周围飞机噪声分析软件后可以自动分析出每一架次的有效连续感觉噪声级  $L_{EPN}$  及一天的计权有效连续感觉噪声级  $L_{WECPN}$ 。

### 6.7 城市轨道交通引起建筑物二次辐射噪声测量方法（JGJ/T 170-2009）

在 JGJ/T 170-2009《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》中要求测量频率范围 16 Hz~200 Hz 的室内二次辐射噪声，通常情况下，使用具有 1/3 倍频程滤波器分析功能的积分声级计，测量 16 Hz~200 Hz 各个 1/3 倍频程中心频率的频带等效连续声压级，再按表 2.1 的声级计频率计权，加上各个中心频率对应的 A 计权因子（分贝数），得到 16 Hz~200 Hz 各个 1/3 倍频程中心频率的频带计权声级，然后再将这些计权频带声压级合成，就得到在 16 Hz~200 Hz 频率范围的等效连续计权 A 声级。

利用 AWA6228 型多功能声级计的自定义频率计权功能，在自定义频率计权菜单下，将 16 Hz~200 Hz 频率范围内的各个 1/3 倍频程中心频率的计权因子设定为表 2.1 对应的 A 计权因子，同时将其它中心频率点的计权因子设置为-INF（即-∞），仪器会根据自定义的计权因子，在测量其它参数的同时，测量出自定义的计权声压级，并用 W-U 表示，这里直接读出了频率范围 16 Hz~200 Hz 的室内二次辐射噪声的声压级值，该声压级值既可以是瞬时值，也可以是等效声级、最大声级或最小声级。

### 6.8 本底噪声修正和低声级噪声测量方法

当使用声级计或噪声统计分析仪测量噪声时，可能会遇到被测噪声接近甚至低于仪器噪声测量下限的情况。因为仪器的噪声测量下限决定于仪器的本机噪声，因此可按环境噪声测量时对背景噪声影响修正的办法，对仪器本机噪声的影响进行修正。这样不仅可提高低声级测量的准确性，而且可以测量低于仪器测量下限的低声级噪声。

假定仪器测量下限为 30 dB，通常仪器的本机噪声应比它低 5 dB，也就是本底噪声通常为接近并低于 25 dB，假定其为 25 dB。如果仪器读数为 28 dB，它表示被测噪声与本底噪声之和（即下表中  $L_{S+N}$ ），比本底噪声声级  $L_N$  高 3 dB，修正值  $\Delta = L_{S+N} - L_S$  为 -3 dB，则被测噪声声级  $L_S = L_{S+N} - \Delta = 28\text{dB} - 3\text{dB} = 25\text{dB}$ 。其它读数时相应的修正值及被测噪声声级如表 6.3：

表 6.1 本底噪声修正值

单位：dB

$L_{S+N} - L_N$	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0	9.0	10	12	15	20
$\Delta = L_{S+N} - L_S$	-3	-2.6	-2.2	-1.9	-1.6	-1.4	-1.2	-1.1	-1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1

中间读数的修正可由内插法得到，也可通过图 6.1 进行修正，修正方法同上。但是如果仪器读数低于仪器的测量下限 2 dB，也就是被测噪声低于仪器的本底噪声（比测量下限低 5 dB），理论上仍可修正，但将有较大误差，这时应选用测量下限更低的仪器进行测量。

值得注意的是：有的仪器生产厂（一些非正规生产厂）并没有按标准要求规定仪器的测量下限，而是将仪器的本底噪声作为测量下限，那就不能再用上述方法进行修正了。

在相关的环境噪声国家标准中，为了简便起见，本底噪声按下表进行修正：

**表 6.2 本底噪声简化修正值**

单位：dB

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

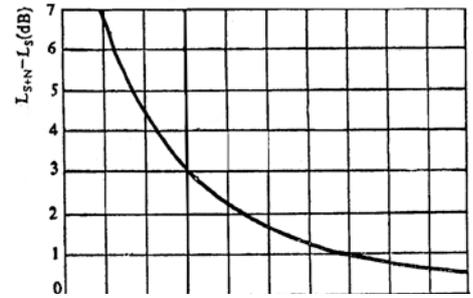


图 6.1 混合声级与本底噪声差值对修正值的关系

## 7 新环境噪声国家标准与测量仪器要求

### 7.1 新标准的主要变化

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国环境噪声污染防治法》，防治噪声污染，保障城乡居民正常生活、工作和学习的声环境质量，环境保护部科技标准司组织制订并于2008年8月发布了三个环境噪声标准，自2008年10月1日起实施，它们是：

(1) GB 3096-2008《声环境质量标准》。该标准是对GB 3096-93《城市区域环境噪声标准》和GB/T 14623-93《城市区域环境噪声测量方法》的修订，自实施之日起，GB 3096-93和GB/T 14623-93废止。与原标准相比主要修改内容是：

- 扩大了标准适用区域，将乡村地区纳入标准适用范围；
- 将环境质量标准与测量方法标准合并为一项标准；
- 明确了交通干线的定义，对交通干线两侧4类区环境噪声限值作了调整；
- 提出了声环境功能区监测和噪声敏感建筑物监测的要求。

(2) GB 12348—2008《工业企业厂界环境噪声排放标准》，该标准将GB 12348-90《工业企业厂界噪声标准》和GB 12349-90《工业企业厂界噪声测量方法》合并为一个标准，名称也作了更改，自实施之日起，GB 12348-90和GB 12349-90废止。与原标准相比主要修订内容是：

- 修改了标准的适用范围、背景值修正表；
- 补充了0类区噪声限值、测量条件、测点位置、测点布设和测量记录；
- 增加了部分术语和定义、室内噪声限值、背景噪声测量、测量结果和测量结果评价的内容。

(3) GB 22337—2008《社会生活环境噪声排放标准》，该标准为首次发布。标准规定了营业性文化娱乐场所和商业经营活动中可能产生环境噪声污染的设备、设施边界噪声排放限值和测量方法。适用于对营业性文化娱乐场所、商业经营活动中使用的向环境排放噪声的设备、设施的管理、评价与控制。

三个标准中规定测量仪器为积分平均声级计或环境噪声自动监测仪，其性能应不低于GB 3785和GB/T 17181对2型仪器的要求。在GB 12348—2008《工业企业厂界环境噪声排放标准》和GB 22337—2008《社会生活环境噪声排放标准》中，规定测量35 dB以下的噪声应使用1型声级计，且测量范围应满足所测量噪声的需要。

在GB 12348—2008《工业企业厂界环境噪声排放标准》和GB 22337—2008《社会生活环境噪声排放标准》中，首次提出了结构传播固定设备室内噪声排放限值，规定当排放的噪声通过建筑物结构传播至噪声敏感建筑物室内时，噪声敏感建筑物室内等效声级既不得超过规定的A声级限值，也不得超过规定的室内噪声倍频带声压级限值，倍频带中心频率为31.5 Hz、63 Hz、125 Hz、250 Hz、500 Hz，其覆盖频率范围为22 Hz~707 Hz。这是考虑到不管是工业企业固定设备排放的噪声，还是位于噪声敏感建筑物内的社会生活噪声排放源排放的噪声，它们通过建筑物结构传播至噪声敏感建筑室内（指医院、学校、机关、科研单位、住宅等需要保持安静的建筑物）时，噪声的主要成份呈低频特性，这

时测量 A 声级可能不会超过规定限值，但是对于人的干扰却不能忽视，也就是说 A 声级限值还不能保证噪声敏感建筑室内声环境质量，因此增加低频段的倍频带声压级限值来要求。

在GB 3096-2008《声环境质量标准》中规定，全国重点环保城市以及其他有条件的城市和地区宜设置环境噪声自动监测系统，进行不同声环境功能区监测点的连续自动监测。环境噪声自动监测系统主要由自动监测子站和中心站及通信系统组成，其中自动监测子站由全天候户外传声器、智能噪声自动监测仪器、数据传输设备等构成。明确规定要采用全天候户外测试电容传声器，能保证防风、防雨、防鸟停，同时系统的声学性能指标符合有关国家标准要求。

## 7.2 测量仪器标准和准确度等级

三个标准中规定环境噪声测量仪器为积分平均声级计或环境噪声自动监测仪，其性能应不低于GB 3785-1983 和 GB/T 17181-1997对 2 型仪器的要求。值得指出的是GB 3785 和 GB/T 17181所对应并参照或等同采用的国际标准IEC 651和IEC 804已于2002年被IEC 61672替代，只是由于我国新的等同采用IEC 61672标准的国家标准直到2010年才正式发布，因此，在这三个国家标准中仍然沿用GB 3785 和 GB/T 17181两个标准。但是，按照新的IEC 61672标准制订的国家计量检定规程JJG 188-2002早已实施，新的声级计标准GB/T 3785.1-2010《电声学 声级计 第1部分 规范》已于2010年正式发布，用户在选购时一定要注意仪器应满足GB/T 3785.1-2010标准和JJG 188-2002检定规程的要求，相应的仪器级别称之为 2 级和 1 级。满足GB/T 3785.1-2010标准要求也就满足JJG 188-2002检定规程要求，反之亦然，而且也满足老的GB 3785 和 GB/T 17181的要求。但是如仅仅满足GB 3785-1983 和 GB/T 17181-1997的要求，那它不一定能满足GB/T 3785.1-2010标准和JJG 188-2002检定规程的要求，在计量部门检定时可能会被判定为不合格。

在GB 12348—2008《工业企业厂界环境噪声排放标准》和GB 22337—2008《社会生活环境噪声排放标准》中，规定测量 35 dB 以下的噪声应使用 1 型声级计，且测量范围应满足所测量噪声的需要。新标准中规定在某些情况下要在室内测量噪声，这时的噪声限值比室外要低10 dB，最低限值是 30 dB，也就是仪器至少应能测量30 dBA声级。而现在许多 2 级仪器的测量下限范围只有 35 dB 或更高，用这样的仪器测量35 dB 以下的噪声将会带来较大的误差，甚至根本无法测量。我公司已有多款 1 级（1 型）积分平均声级计和环境噪声自动监测仪器，其中AWA6291型实时信号分析仪和AWA 6228型多功能声级计（1 级）的A声级本底噪声为18 dB，A声级测量下限为25 dB，完全能满足新标准测量范围的要求。而且1级声级计的其它性能指标也比 2 级仪器优良。国外先进国家和地区在环境噪声测量中都是使用 1 级声级计，2 级仪器已不再生产，建议有条件的单位今后最好选购 1 级仪器，这样适用范围和工作温度范围更宽，测量准确度也更高。

## 7.3 结构传播固定设备室内噪声和倍频带声压级测量

在 GB 12348—2008《工业企业厂界环境噪声排放标准》和 GB 22337—2008《社会生活环境噪声排放标准》中，首次提出了结构传播固定设备室内噪声排放限值。

什么是结构传播噪声？

结构传播噪声是指噪声以振动的形式在建筑物结构内传播，再对外辐射出的噪声，也叫固体声。有两种情况可以产生结构传播噪声：1) 声波入射到建筑结构上时，激发结构本身振动，再向外辐射声音；2) 声源以振动直接激发结构振动，并以弹性波的形式在结构中传播，在传播中再向周围辐射声音。

比如高层建筑的供水系统，水泵一旦工作就会产生噪声和振动，通过楼的结构，如地板、墙体等向四周传播。这种结构噪声低频丰富，传播距离远，影响范围大，往往造成室内监测的 A 声级噪声并不高，但是住户却感觉很不舒服。单纯用 A 声级来评价低频成分丰富的噪声，其结果往往与人们的主观感觉相差较大。因此，对于结构传播噪声有必要从频率角度来考虑制订限值标准。

标准中规定了当排放的噪声通过建筑物结构传播至噪声敏感建筑物室内时噪声敏感建筑物室内等效 A 声级限值，也规定了室内噪声倍频带声压级限值（倍频带中心频率为 31.5 Hz、63 Hz、125 Hz、250 Hz、500 Hz，其覆盖频率范围为 22 Hz~707 Hz）。对于不同功能区、不同时间段和不同房间类型的结构传播固定设备室内噪声排放限值见表7.1：

表7.1 结构传播固定设备室内噪声排放限值 单位：dB

噪声敏感建筑所处声环境功能区	时段	倍频程中心频率Hz 房间类型	室内噪声倍频带声压级限值					等效A声级限值
			31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	
0	昼间	A、B类房间	76	59	48	39	34	40
	夜间	A、B类房间	69	51	39	30	24	30
1	昼间	A类房间	76	59	48	39	34	40
		B类房间	79	63	52	44	38	45
	夜间	A类房间	69	51	39	30	24	30
		B类房间	72	55	43	35	29	35
2、3、4	昼间	A类房间	79	63	52	44	38	45
		B类房间	82	67	56	49	43	50
	夜间	A类房间	72	55	43	35	29	35
		B类房间	76	59	48	39	34	40

这里的倍频带声压级限值是是根据NR噪声评价曲线得出的，具体是根据A声级限值减10 dB，即NR (A-10)的曲线所对应倍频带声压级值。例如对于A声级的30 dB限值，选用NR20曲线，对应的31.5 Hz、63 Hz、125 Hz、250 Hz和500 Hz中心频率的倍频带声压级限值分别为69 dB、51 dB、39 dB、30 dB和24 dB。

标准要求测量噪声 A 声级的同时，进行噪声的倍频带声压级测量，一般的积分声级计和噪声统计分析仪都不具备这一功能，需要另加倍频程滤波器来测量倍频带声压级，或者使用噪声频谱分析仪来测量。随着科学技术的发展，现在噪声频谱分析测量多已采用数字化的实时频谱分析技术，可以实时（同时）测量并显示所有的频带声压级，不仅测量时间大大缩短，而且可测量分析动态变化的噪声。我公司已根据新的国家标准专门设计开发了 AWA 6228 型多功能声级计，该仪器采用数字信号处

理技术，符合 1 级仪器要求，不仅具有一般的测量 A 计权等效声级和统计声级的功能，还可以在短至 21 毫秒时间内测量并显示整个频段内各个倍频带声压级，完全符合新国家标准测量噪声等效声级和实时倍频带声压级的要求。仪器采用数字滤波器，滤波器性能符合 GB/T 3241 1 级要求。我公司还有 AWA 6291 型实时信号分析仪，它除满足以上要求外，还能测量分析 1/3 倍频带声压级、FFT 分析、混响时间测量等，功能更多更好。

另外一个问题是噪声频谱分析仪频带声压级的测量下限能不能满足标准要求，标准中对频带声压级的最低声压级限值规定为 24 dB（500 Hz 中心频率，0 类功能区，A、B 类房间、夜间），由于倍频带声压级只测量部分带宽内的声压级，通常比 A 声级的测量下限低。下表给出 AWA6228 和 AWA6291 两种仪器在中国计量院消声室中测得的典型本机噪声(自生噪声)，可见它们完全能符合标准要求。

表 7.2 AWA6228 及 AWA6291 的本机噪声 单位：dB

产品型号	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k	A	C	Z
AWA6228	23.0	10.5	4.3	8.2	8.9	8.4	9.3	10.6	12.0	17.8	18.0	23.7	29.8
AWA6291	13.35	7.49	6.45	3.06	5.45	6.42	9.08	11.31	12.04	11.8	16.98	18.1	28.72
GB22337 中最低的噪声值（0 类区、A 类房间、夜间）	69	51	39	30	24						30		

#### 7.4 为什么选用实时分析仪？

实时分析 (Real-Time Analysis)定义为“信号分析的时间能满足非平稳过程动态参数分辨的需要，即分析时间不大于采样时间”，它的简单涵义就是即时分析，能实现这种分析功能的仪器就称为实时信号分析仪。实时信号分析仪通常都是采用数字信号处理办法，将模拟信号变换成数字信号，再由计算机（含单片机和数字信号处理器）进行数字运算达到数字滤波或 FFT 分析。

实时分析仪的最大优点是分析速度快。由于计算机运算速度非常快，可以在几十毫秒甚至更短的时间内获得倍频程或 1/3 倍频程频谱分析的结果，而且可以得到 FFT 窄带分析的结果，给人的感觉是即时实现的。比之使用模拟滤波器，由于包括 LC 滤波器、RC 滤波器以及开关电容滤波器等，这些滤波器使用时都要一挡一挡选择各个中心频率的滤波器依次进行频谱测量分析，而每个滤波器以及检波电路都需要几秒钟才能达到稳定，因此，如果使用倍频程滤波器完成声频范围频谱分析大约需要 1 分钟，使用 1/3 倍频程滤波器则需要 3 分钟左右时间。显然实时分析的测试效率要高得多。

正因为实时分析速度快，所以它可以测量分析动态变化的噪声和时间很短的脉冲噪声。通常的模拟滤波器频谱分析仪都只能用于稳态信号分析，对于环境噪声、交通噪声以及其它随机变化的不稳定噪声，根本就无法进行测量，因为在进行下一个滤波器分析时的噪声与上一个滤波器分析时的噪声完全不一样，从而使得测量得到的频谱分析结果毫无意义。另外也无法测量出现时间很短的脉冲噪声的频谱，也难以进行窄带频谱分析，因为这需要很多个模拟滤波器。

在新颁布的环境噪声国家标准 GB 12348-2008《工业企业厂界环境噪声排放标准》和 GB 22337—2008《社会生活环境噪声排放标准》中，为了评价结构传播固定设备室内噪声排放的影响，

需要在测量 A 声级的同时，测量 31.5 Hz、63 Hz、125 Hz、250 Hz、500 Hz 五个中心频率的频带声压级，而且这些频带声压级都不能超过标准规定的要求值。虽然标准中没有规定一定要用实时频谱分析仪，但是，如果使用一般模拟滤波器的频谱分析仪，测量以上 6 个声压级的瞬时值至少需要 30 秒钟，如果要测量等效声压级，就要分别测量 A 声级和各频带的等效声压级，假定积分测量时间是 10 分钟，那就要 60 分钟。这么长的时间，不仅工作效率低，而且有可能在测量后一个声压级时，噪声源的工况发生了变化，例如水泵、电梯停止工作了，该频带声压级明显偏小，可能不会超标，这样测量的结果就是不真实的。如果使用实时分析仪，同时测量以上 6 个声压级的瞬时值只需要 21 毫秒，如果要测量等效声压级，可以同时测量 A 声级和各频带的等效声压级，假定积分测量时间是 10 分钟，那就只要测量 10 分钟。显然工作效率大大提高，而且 6 个声压级是在同一时间段、相同的噪声源工况条件下测量的，真实反映了噪声排放情况，所以在测量结构传播固定设备室内噪声排放时，应该选用实时信号分析仪。中国环境监测总站 2008 年在成都召开的新环境噪声标准宣贯会上，环境监测总站的专家明确要求使用实时分析仪。当然，如果不是测量结构传播固定设备室内噪声，不需要测量频带声压级，仍可使用单片机进行数据处理的模拟仪器，如一般积分声级计和噪声统计分析仪。

由于实时信号分析仪的硬件电路非常简单，主要功能都是通过软件实现的，因此它的各项性能指标非常准确，一致性很好，受环境变化影响小，稳定性好。另外，实时信号分析仪只要更换不同的软件可以完成 1/1 倍频程、1/3 倍频程以至更细的 1/n 倍频程谱分析，也可以进行 FFT 分析，而且还可以扩展为其它许多测量与分析功能。

正因为实时信号分析仪有这么多的优点，因此得到了广泛应用，使用了实时分析仪的用户不会再去使用模拟分析仪器，就象使用了彩色电视机不会再使用黑白电视机，实时分析仪替代模拟分析仪器是大势所趋。这样的噪声振动分析仪器市场上已有多种，但是具有自主知识产权的国产袖珍式噪声振动实时分析仪器，只有我公司研发生产的 AWA6228 型多功能声级计和 AWA6291 型实时信号分析仪，它们都符合 GB3785.1-2010 声级计国家标准、JJG188-2002 声级计计量检定规程和 IEC61672 声级计国际标准 1 级仪器要求，滤波器符合 GB/T 3241 倍频程和分数倍频程滤波器标准要求。AWA6228 型多功能声级计是专门针对新的环境噪声标准要求设计生产的，能同时测量 A 声级、C 声级、各个倍频带声压级，可以进行积分和统计分析测量、24 小时测量、机场噪声简易测量，还可以加入 SD 卡增加录音和大容量储存功能，加入 GPS 模块测点定位功能等。AWA6291 型实时信号分析仪用途更加广泛，能同时测量 A 声级、C 声级、倍频带和 1/3 倍频带声压级，FFT 分析，可以进行积分和统计分析测量、24 小时测量、机场噪声简易测量和精密测量，还可以反向脉冲积分法测量室内混响时间；更换使用加速度计和相应软件，可以测量机器振动、人体振动和环境振动。

## 7.5 声校准器类型及其准确度等级

在新颁布的三个环境噪声国家标准中，都要求在测量前后使用声校准器校准测量仪器的示值偏差不得大于 0.5 dB，否则测量无效。声校准器应满足 GB / T 15173 对 1 级或 2 级声校准器的要求。那么到底要选择那一级的声校准器呢？

在GB/T 15173《声校准器》标准中，将声校准器的准确度等级分为LS级、1级、2级。LS级声校准器一般只在实验室中使用，而1级和2级声校准器为现场使用。1级声校准器主要与1级声级计配套使用，2级声校准器主要与2级声级计配套使用。在GB/T 3785.1-2010《声级计》国家标准和JJG 188-2002《声级计检定规程》中，规定1级声级计要用1级声校准器进行校准，2级声级计要用1级或2级声校准器进行校准。道理是很清楚的，只有用1级声校准器校准1级声级计才能保证1级声级计的精度等级；如果用2级声校准器来校准1级声级计就不能保证它的1级声级计的精度等级。

以前在环保部门基本上都是使用2级声级计和环境噪声监测仪器，都是配置2级声校准器。但是在新的环境噪声标准中，规定测量35 dB(A)以下声级时要使用1级声级计，这样就要求各地环保部门在选购1级声级计的同时，要选购1级声校准器。

如果声校准器在环境条件(大气压、温度、湿度)变化时，必需通过修正才能满足相应标准等级要求，应在声校准器等级后加字符C，即LS/C、1/C或2/C。但是，对于LS级和1级只允许对大气压进行这种修正，不允许对其它环境条件进行这种修正。

所以，建议用户今后尽可能选购1级声校准器，利用它既可校准1级声级计，又可校准2级声级计，也省去气压修正等烦恼。

## 7.6 环境噪声自动监测系统的建设

在最新发布的环境噪声国家标准GB 3096-2008《声环境质量标准》中规定：全国重点环保城市以及其他有条件的城市和地区宜设置环境噪声自动监测系统，进行不同声环境功能区监测点的连续自动监测。环境噪声自动监测系统主要由自动监测子站和中心站及通信系统组成，其中自动监测子站由全天候户外传声器、智能噪声自动监测仪器、数据传输设备等构成。

环境噪声自动监测系统主要用于城市环境噪声自动监测，交通噪声自动监测、机场噪声监测、噪声事件监测和报告及噪声数据自动采集、储存、传输。也适用于噪声污染源（如施工场地、厂界、道路车辆等）在线监测。它具有全天候监测、无需人值守、系统自动校准等特点。可以是固定或可移动的。

### 7.6.1 全天候户外传声器主要技术要求

- 1) 可全天候长期稳定工作
- 2) 具有防雨、防风、防鸟停等功能

下雨不会引起传声器灵敏度明显变化、风罩吸满雨水后对测量结果也无明显影响。户外传声器不会因雨水很快锈蚀。风罩可以对5 m/s以上的风提供15 dB以上的风噪声衰减，户外传声器结构牢固，不会被风吹倒。

- 3) 具有远程自动校准功能，可以检查传声器及整个测量系统的工作情况
- 4) 频率范围：20 Hz到12.5 kHz（或20 Hz到16 kHz），符合I GB/T 3785.1-2010对2级（或1级）声级计的要求

- 5) 测量范围：40 到130 dB，满足环境噪声测量的要求
- 6) 指向性：无指向
- 7) 自由场响应：户外传声器带上所有配件后应具有平直的自由场响应曲线，其响应符合 IEC61672：2002 2级（或1级）的要求
- 8) 可以在现场使用声级校准器对户外传声器进行声校准，声级校准器符合GB/T15173及 IEC60942标准的要求
- 9) 能快速方便地安装和拆卸，便于维护。
- 10) 工作温度：-20℃~50℃，工作相对湿度：0~100%（不凝结）

#### 7.6.2 对智能噪声自动监测仪器的主要技术要求

- 1) 符合标准：符合 GB/T 3785.1-2010/ IEC 61672-1:2002 《电声学 声级计 第1部分 规范》2级和 JJG188-2002 《声级计》 2级
- 2) 主要分析指标：Leq、Lmax、Lmin、L5、L10、L50、L90、L95、SD、Ld、Ln、Ldn，风速；可选1/3倍频程频谱析功能。
- 3) 频率计权：A，可选并行C，Z计权。
- 4) 时间计权：F，可选并行S，I，Peak计权。
- 5) 采样间隔：不超过1秒
- 6) 级线性范围：>90 dB，不换量程档
- 7) 数据存贮：终端内可存储大于7天的原始数据
- 8) 出接口：RS 232，GPRS或CDMA的无线通信方式，LAN接口
- 9) 电源：外接交流电 220 V ， 50 Hz，后备电源，可连续正常工作 8 小时以上。
- 10) 其它可选功能：超标录音功能，设备异常自动报警功能，气象参数测量功能，可根据气象条件自动挑出异常数据。

#### 7.6.2 环境噪声自动监测系统测点布置原则

- 1) 根据各地方环境噪声功能区划分的情况分配噪声自动监测系统的测点

选择能反映各类功能区声环境质量特征的监测点1至若干个，测点距地面高度为声场空间垂直分布的可能最大值处。其位置应能避开反射面和附近的固定噪声源，4类声环境功能区监测点设于4类区内第一排噪声敏感建筑物户外交通噪声空间垂直分布的可能最大值处。这些自动监测点可以代替24小时定点监测的点位。

- 2) 对主要噪声源进行布点

##### ① 建筑施工噪声

在建筑工程可持续时间内，取施工场地边界处，在距噪声敏感建筑物较近以及受被测声源影响大的位置设置测点，同时应尽量避开其它噪声的影响。此类测点的自动监测设备为可移动设备，最好有自动录音、视频监控等功能。

##### ② 工业企业

根据工业企业声源、周围噪声敏感建筑物的布局以及毗邻的区域类别，在工业企业厂界布设多个测点，其中包括距噪声敏感建筑物较近以及受被测声源影响大的位置，一般测点设在厂界围墙上。

### 3) 测点布置的一般原则

测点附近无强大的电磁干扰，电力供应、通信线路稳定可靠，不易受到人为损坏。

我公司多年来从事环境噪声自动监测系统的研制，通过不断的设计改进和实践应用，已研发了两款环境噪声自动监测系统，它们的共同优点是能满足声环境质量的这一要求，都采用具有我公司自主知识产权的专利——“全天候户外测试电容传声器”，能在保证防风、防雨、防鸟停的同时，保证系统的声学性能指标符合有关国家标准 1 级或 2 级的要求。而且它们的测试数据可以有有线或无线方式，通过互联网传至中心站计算机进行处理。AWA 6218J型环境噪声自动监测系统是新品种，功能更加强大，除可同时测量噪声的A、C、Z声级外，也可增加实时测量 1/3 倍频程频带声压级的功能，可以识别噪声源或用于机场噪声精密测量，还可增加事件录音、GPS定位、手机短信发送，以及其它功能。另外一种简化型AWA 6218S型环境噪声自动监测系统。用户可根据要求进行选择。

有关环境噪声自动监测系统的进一步信息可参看我公司网站（[www.hzaihua.com](http://www.hzaihua.com)）下载中心的该产品样本资料。

以上环境噪声自动监测系统已成功应用在浙江省杭州市、湖北省武汉市、江西省南昌市、上海市浦东新区、广州市荔湾区、陕西省阳泉市、黑龙江省大庆市、贵州省遵义市、上海宝钢、辽宁省鞍钢、浙江省北仑电厂、嘉兴电厂、杭州半山电厂等。



图 7.1 安装于中国环境监测总站的环境噪声自动监测系统



图 7.2 技术人员正在安装环境噪声自动监测系统

## 7.7 其它有关噪声测量的问题

### 7.7.1 测量范围的问题

在 GB 12348—2008《工业企业厂界环境噪声排放标准》和 GB 22337—2008《社会生活环境噪声排放标准》中，规定测量 35 dB 以下的噪声应使用 1 型声级计，且测量范围应满足所测量噪声的需要。声级计的测量范围是如何定义的呢？GB/T 3785.1-2010 标准对声级计的测量范围定义为级线性工作范围，也就是级线性误差在标准规定的允差以内的声级范围。对于 1 级声级计的级线性误差为 0.7

dB，2级声级计的级线性误差为1.0 dB。由于传声器内空气分子的热运动，仪器内电子元件的电子热运动等会在仪器上形成一个微小的电压，虽然声级计上没有作用声压，但却可以显示出一个声级，这个就是仪器的本机噪声。本机噪声就像环境背景噪声会影响厂界噪声测量结果一样会影响仪器对噪声的测量，当测量的噪声比本机噪声高7 dB时，本机噪声对测量结果的影响加大了0.7 dB左右，刚好符合GB/T 3785.1-2010对1级声级计的要求。因此对于1级声级计一般将本机噪声加上7~10dB当作仪器的测量下限，2级声级计一般将本机噪声加上5 dB当作仪器的测量下限。AWA6228的倍频带及各频率计权的本机噪声见表7.2。

从表7.2可以看出，AWA6228所有倍频带及频率计权的声压级均比GB22337要求的测量范围要低10 dB以上，完全可以满足标准对测量范围的要求。AWA6228专门还设计了本机噪声自动修正功能，又可以将A计权的测量下限降低3 dB。

有人将仪器的本机噪声与测量下限混为一谈，甚至用本机电噪声代替测量下限，看似测量下限很低，但实际上在消声室内根本测量不到这个数，更谈不上测量准确。

### 7.7.2 采样间隔的问题

采用F时间计权测量时间计权声级就是使用指数平均测量声压的有效值，测量等效连续声级就是使用线性平均测量一段时间的声压有效值，这是两种不同的平均方法。测量等效连续声级采用的是线性平均，其结果与时间计权无关。测量L<sub>max</sub>、L<sub>min</sub>、LN（统计声级）时，是对时间计权声级进行采样计算，它们与时间计权的时间常数有关，还与采样间隔有关。F档的时间常数为125 ms，可以证明F档的衰减速率为35 dB/s，为了保证相邻两次采样之间的差异小于1 dB，采样间隔应小于30 ms。如果采样间隔设为1 s，则测量出的最大值可以误差较大。AWA6228的采样间隔为21 ms，可以保证对最大值的采样误差小于0.7 dB。新标准中要求L<sub>max</sub>参与评价，为了保证L<sub>max</sub>测量的准确性，建议1级声级计的采样间隔要小于20 ms，2级声级计的采样间隔要小于30 ms。

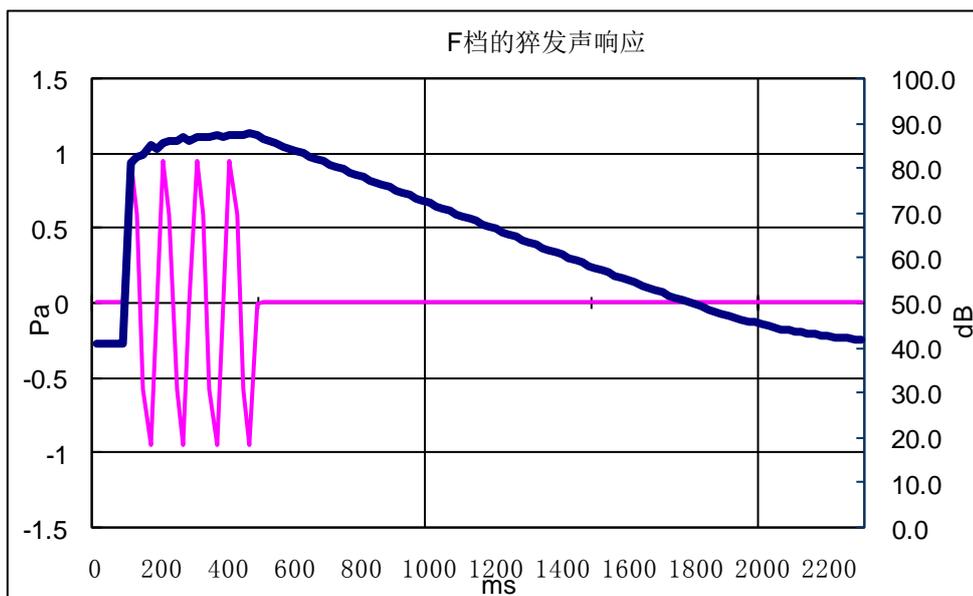


图 7.3 F 计权的猝发声响应

### 7.7.3 风对噪声测量的影响

风吹到传声器上会在传声器膜片附近产生涡流，引起传声器膜片振动，产生额外的噪声信号，这就是风噪声。风噪声的大小与风速，风向有关系。风速高风噪声大，风向与传声器膜片平行时风噪声略小。因此在进行户外噪声测量时，一般建议带上风罩，风速超过 5m/s 时应停止测量。AWA6228 带上  $\Phi 60$  的风球时，在不同风速下的风噪声见下表。

表 7.3 带上  $\Phi 60$  的风球时， $\Phi 12.7$  测试电容传声器的风噪声

风向	与膜片平行			与膜片垂直		
	5 m/s	7.5 m/s	10 m/s	5 m/s	7.5 m/s	10 m/s
A 计权	43 dB	52 dB	58 dB	45 dB	54 dB	60 dB
C 计权	57 dB	67 dB	74 dB	60 dB	69 dB	76 dB
Z 计权	60 dB	70 dB	77 dB	63 dB	72 dB	79 dB

从上表可以看出，风速低于 5 m/s 时，仪器带上  $\Phi 60$  的风球可以有效的抑制风噪声，不会对一般环境噪声或工业企业厂界测量有影响。当风速增大一倍时，A 计权风噪声要增加 15 dB 左右，此时还可以对 A 声级较高的厂界或交通噪声进行测量。

### 7.8 结构传播固定设备室内噪声测量传测量实例

测量地点：杭州市某小区三楼主卧

测量时间：夜间 22:30

声环境功能区：2 类，

主要污染源：地下一层为水泵房

结论：250 Hz 频带声压级超标



图 7.4 室内噪声测量结构传播固定设备室内噪声

表 7.4 结构传播固定设备室内噪声测量结果

	31.5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	单位：dB A 计权
Leq,1min	45.4	45.5	41.2	37.9	26.8	32.2
Lmax	52.9	51.8	48.3	44.5	33.9	37.6
Lmin	40.8	40.7	36.8	33.9	23.5	29.6
限值	72	55	43	35	29	35
背景	32.5	30.2	32.0	28.1	20.6	26.3

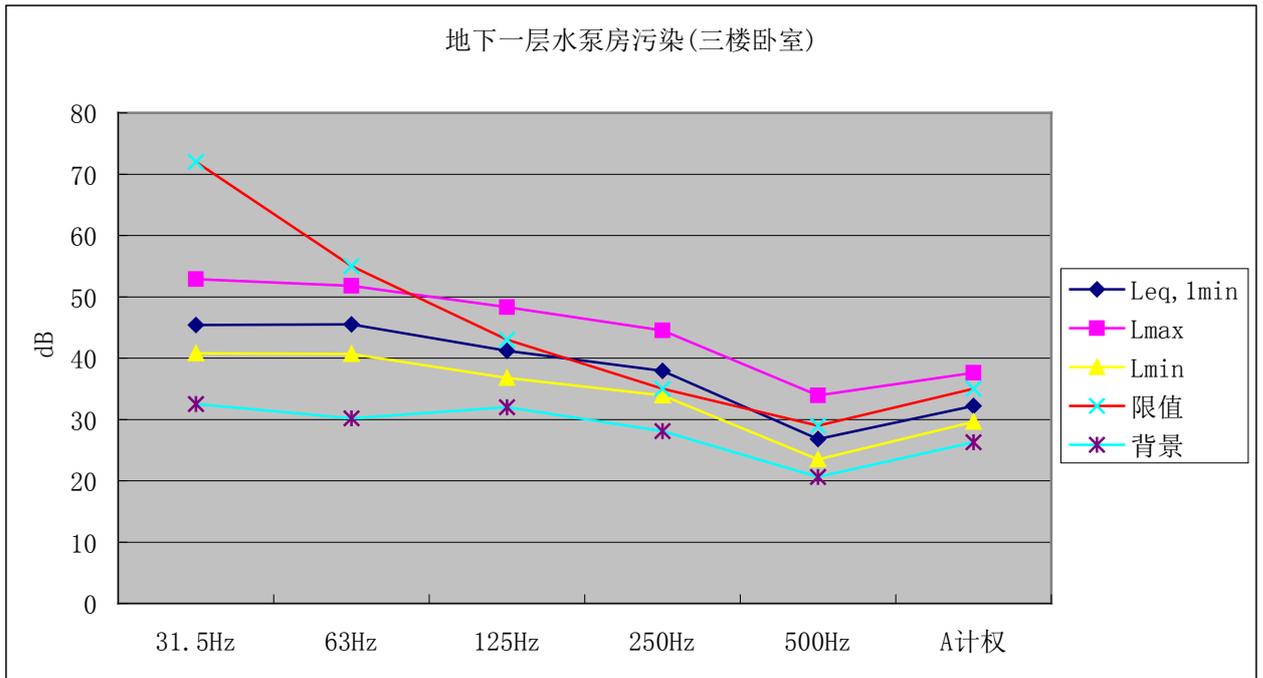


图 7.5 结构传播固定设备室内噪声测量结果

从以上测量实例可以看出：

- 1)水泵房的噪声通过结构传播的方式引起了三楼的声环境质量问题；
- 2)结构传播固定设备室内噪声以低频成分为主，虽然 A 声级达标，但还是引起了投诉；
- 3)按 2008 年的新标准进行倍频程频谱分析后发现 250Hz 频带声压级超标；
- 4)被测噪声是非稳态的，必须用实时频谱分析仪才能保证测量的准确性。

## 8 环境振动测量

### 8.1 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 $\alpha$ 。三个量之间的关系列于表8.1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 $\alpha$ 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 $1g = 9.80665 m/s^2 \approx 9.81 m/s^2$ 。

表8.1 位移、速度、加速度关系表

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

### 8.2 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(0~10 kHz),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,更适合于冲击的测量。

加速度计的结构简图如图8.1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、

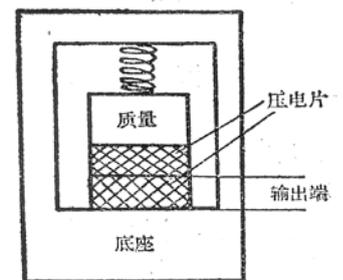


图 8.1 加速度计结构简图

波形和频率。

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：

$$S_V = \frac{S_Q}{C_a + C_c} \quad (8-1)$$

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：

$$V_{\text{有效值}}/g_{\text{峰值}} = 0.707V_{\text{峰值}}/g_{\text{有效值}} = 0.707V_{\text{有效值}}/g_{\text{有效值}} \quad (8-2)$$

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 $R$ 和加速度计电容容量、电缆线电容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8.2）和安装谐振频率。从（图8.2）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0.5 dB，因此加速度计的工作频率不能高于安装谐振频率的1/5。

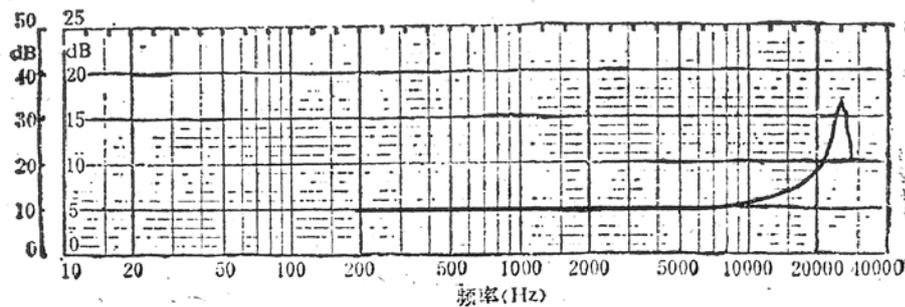


图8.2 加速度计的频率响应曲线

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 $0.01 m/s^2$ ；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 $50000 \sim 100000 m/s^2$ ；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 $1000 km/s^2$ 。

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AWA84141型。

另一种内装集成电路的压电式加速度计（例如AWA84188型）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100 Ω，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12~24 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。

### 8.3 环境振级计

用于测量和评价环境振动的仪器称为环境振级计（如AWA 6256B<sup>+</sup>型环境振动分析仪(图8.3)。根据国家标准GB/T 10071-1988《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ISO 8041《人体对振动的响应——测量仪器》标准有关要求，该标准在1988年时还是DP稿，1990年正式发布。到2005年已修订为2005版本，在具体内容上作了很大的改变，但是由于我国的环境振动标准尚在修订中，还没有正式发布，因此仍以老标准为准。

在ISO 8041: 1990中，规定了频率范围从1 Hz ~ 80 Hz的低频全身振动，并以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，对全身振动±3 %。



图 8.3 AWA6256B<sup>+</sup>照片

对于测量时间计权振级的环境振动计，时间常数可为1 s（“快档”）或8 s（“慢档”）。

环境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8.4。

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1 Hz~80 Hz，以避免频率范围以外信号的干扰和影响。

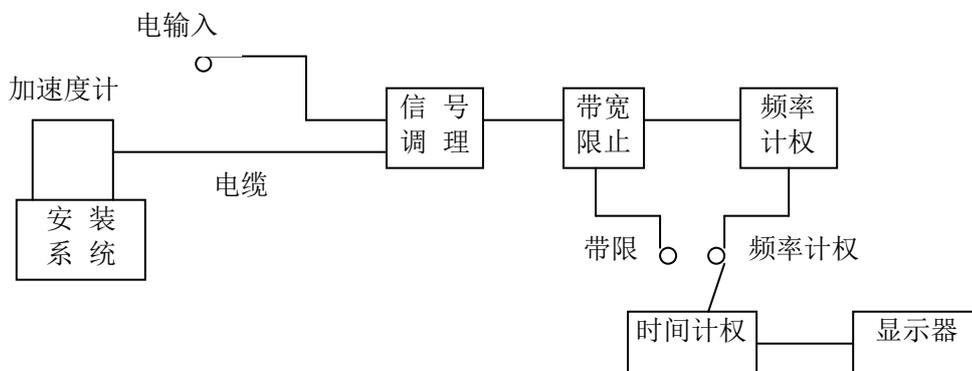


图8.4 环境振动测量仪基本功能的示意图

振动传感器采用压电加速度计，横向灵敏度比应小于5%。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VL<sub>z</sub>，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VL<sub>x-y</sub>。另外仪器也可有平直频率响应以测量非计权加速度。AWA 6256B<sup>+</sup>型环境振动分析器是一种采用数字信号处理技术的智能化环境振动分析仪器，它的频率计权、检波、时间计权等都由内置的高档单片机完成，同时它还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VL<sub>p</sub>、等效连续振级VL<sub>eq</sub>、统计振级VL<sub>N</sub>（N=5、10、50、90、95）及均方偏差SD等。还可以进行24 h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。我国现在的环境振动标准和测量方法还是二十多年以前制订的，国际上有关该标准所参考的ISO 8041已有新的2005版本，等同采用该版本的国家标准已经制订并在报批中，环境振动国家标准也在修订中。由于AWA 6256B<sup>+</sup>是采用数字信号处理技术实现的，因此通过软件更改可很容易符合新标准的要求。

#### 8.4 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ISO 8041:1990 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<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>）。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8 Hz以上，这样铅垂向z振级要比水平x-y方向振级高9 dB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<sub>w<sub>eq</sub></sub>来表示：

$$\begin{aligned}
 VL_{w_{eq}} &= 10 \lg \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T \frac{[a_w(t)]^2}{a_0^2} dt \right\} \\
 &= 10 \lg \left( \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1VL_w} dt \right) \quad (8-3)
 \end{aligned}$$

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<sub>ZN</sub>，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<sub>z</sub>值，这个VL<sub>z</sub>值就叫做累计百分振级VL<sub>ZN</sub>，单位为dB。常用的有VL<sub>Z10</sub>、VL<sub>Z50</sub>和VL<sub>Z90</sub>，分别表示有10 %时间的z振级超过VL<sub>Z10</sub>，有50 %时间的z振级超过VL<sub>Z50</sub>，有90 %时间的z振级超过VL<sub>Z90</sub>。

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8.2中。

表8.2 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10 dB，夜间不超过3 dB。

“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70 dB，夜间67 dB，特殊住宅区昼间和夜间都为65 dB。当z振级低于70 dB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75 dB。为保证夜间居民的睡眠及休息，夜间标准定为比昼间低3 dB，即为72 dB。

“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70~80 dB；小轿车、小面包车行驶时为60~70 dB；其它车辆为65~75 dB。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80 m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80 dB。

## 8.5 城市区域环境振动测量方法 (GB/T10071-1988)

- (1) 测量的量：铅垂向z振级 (VLz)
- (2) 测量仪器：环境振级计或环境振动分析仪，性能符合ISO 8041标准，时间常数1 s。
- (3) 测点位置：置于各类区建筑物室外0.5 m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5 s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，

## 8.6 铁路环境振动测量（TB/T 3152-2007）

(1) 测量仪器：测量应采用精密等级不低于 2 型的环境振动计或其他相当的振动仪器，性能应符合 ISO 8041:1990 的规定，量程应满足 50 dB~110 dB。

(2) 测量的量：测量铅垂向的  $VL_{Z,max}$ 、 $VL_{Z,eq}$  和  $VL_{Z,10}$ 。

(3) 测量内容：

a) 各测点每次列车通过时段的 $VL_{Z,max}$ ；

b) 各测点每次列车通过时段的 $VL_{Z,eq}$ ，不采用等效Z振级作为评价量和参考量时，可不做此项测量；

c) 各测点背景振动的 $VL_{Z,10}$ 。

(4) 测点布设：测点的选择应具有代表性，能够使测量结果正确反映所代表区段的铁路振动状况。

测点布设分为2类：

a) 距铁路外轨中心线30 m处测点——反映铁路两侧30 m处的振动状况；

b) 敏感测点——布设在敏感点或敏感区内的测点，反映敏感点或敏感区的铁路振动状况。

划定典型区段和典型位置时，应考虑以下因素：

a) 与振动源变化有关的因素，如列车运行速度、轨道类型、路堤、路堑、桥梁、道岔群、弯道位置及列车类型、机车牵引类型、地质条件等；

b) 敏感区和敏感点的分布情况；

c) 沿线两侧地面状况；

d) 建筑物分布和类型；

e) 其他特殊要求。

根据铁路列车类型、运行速度、线路状况、地面状况及周围环境条件等情况，基本相同的区段可划定为一个典型区段。对于振动源有显著变化的位置，如铁路桥梁、线路交汇处、道岔群等，可以划定为一个典型位置。

距铁路外轨中心线 30 m 处测点应设在距铁路外轨中心线 30 m 处。每个典型位置和典型区段至少应设 1 个测点。对于仅用于评价敏感点或敏感区的测量，可不布设距铁路外轨中心线 30 m 处测点。

每个敏感点或敏感区至少应在距铁路最近的建筑物室外设 1 个敏感测点。敏感区内应在相应的距铁路外轨中心线 30 m 测点位置设置垂直于铁路走向的测量断面，每个测量断面上应布设 2~3 个敏感测点。距离铁路最远的测点位置不宜大于 100 m。

(5) 测点位置：测点置于建筑物室外 0.5 m 以内振动敏感处。必要时，测点置于建筑物室内。测点布置宜远离公路、工厂、施工现场等非铁路振动源。当无法远离时，应在测量时间上避开这些非铁路振动的干扰。

(6) 振动传感器的放置：振动传感器应平稳地安放在平坦、坚实的地面上。避免置于如草地、砂地、雪地或地毯等松软的地面上；振动传感器的灵敏度主轴方向应与测量方向一致；需要测量建筑物内受振状况时，振动传感器宜置于相应建筑物室内中央。

(7) 测量条件：同一测量断面内的测点，应采用同步测量的方法。应避免足以影响环境振动测量值的其他环境因素，如剧烈的温度梯度变化、强电磁场、强风、地震或其它非振动污染源引起的干扰。

(8) 测量方法：测量每次列车车头至车尾通过测点时的  $V_{Lz,max}$  和  $V_{Lz,eq}$ 。每个测点分别连续测量昼、夜间 20 次列车；对于车流密度较低的线路，可以测量昼间不小于 4 h、夜间不小于 2 h 内通过的列车。测量结果以昼间、夜间所测数据的算术平均值表示。测量时，每个测点测量时间不少于 1000 s。为避免铁路振动的干扰，允许采用间断测量的方法，但累计测量时间应不少于 1000 s。测量采用仪器自动采样的方法。采样间隔应不大于 1 s。测量数据经算术平均后的结果，应按照 GB/T 8170 的规则修约到整分贝数。

(9) 背景振动：铁路振动与背景振动的差值小于 10 dB 时，测量结果应按表 8.3 进行修正。若差值低于 5 dB 以下，测量结果仅作参考值。

表 8.3 背景振动修正值 单位为分贝

铁路环境振动与背景振动差值	试验读数的修正值
≥10	0
6~9	-1
5	-2

### 8.7 城市轨道交通引起建筑物室内振动限值及其测量方法 (JGJ/T 170-2009)

要求测量频率范围 4 Hz~200 Hz 的城市轨道交通引起建筑物室内振动，评价量为 1/3 倍频程中心频率上的最大振动加速度级（简称分频最大振级），建筑物室内振动限值 (dB)：

表 8.4 轨道交通引起建筑物室内振动限值 (dB)

区域	昼间	夜间

0类	65	62
1类	65	62
2类	70	67
3类	75	72
4类	75	72

Z 频率计权因子见下表：

表 8.5 Z 频率计权因子

1/3 倍频程 中心频率 Hz	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
计权因子 dB	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-6	-8	-10	-12	-14	-17	-21	-25	-30	-36

利用具有 1/3 倍频程分析功能的振动测量仪器，如 AWA6291 型实时信号分析仪，测量 4 Hz~200 Hz 频率范围内的各个 1/3 倍频程中心频率的振级，再分别加上各个 1/3 倍频程中心频率对应的计权因子，其中最大振动加速度级（简称分频最大振级）就是评价值。

## 9 环境噪声测量和数据管理

### 9.1 AWA6228多功能声级计在新环境噪声国家标准中的应用

#### 9.1.1 简介

AWA6228 型多功能声级计是采用数字信号处理技术的新一代噪声测量仪器,是 AWA6218 系列的升级换代产品。A、C、Z 三种并行(同时)的频率计权及 F、S、I、Peak 四种并行(同时)的时间计权、实时倍频程频谱分析,可以同时测量多种评价指标。仪器具有动态范围大、大容量存贮、录音、U 盘、读卡器等功能。模块化设计,用户可以根据需要选购相应的模块。还可选配内嵌 GPS 定位系统,测量噪声的同时,提供位置信息及测点运动速度;选配微型打印机,可现场打印测量结果;选配 GSM 无线数据传输模块,可通过 SMS(短信)将测量结果发到指定的手机或计算机上。该仪器可广泛应用在环境保护、劳动卫生、工业企业、科研教学等领域,完成环境噪声测量、机场噪声测量、声功率级测量、机器设备噪声测量以及建筑声学测量。完全符合 GB3096-2008 声环境质量标准、GB12348-2008 工业企业厂界噪声排放标准、GB22337-2008 社会生活环境噪声排放标准中对测量仪器的要求。

#### 9.1.2 主要功能

- ❖ 主要测量功能:统计分析功能、24 小时自动监测功能、机场噪声测量功能、倍频程实时频谱分析功能
- ❖ 测点名可以由用户任意输入中英文,支持中文拼音输入
- ❖ 仪器内部可保存最近 128 次声学校准记录.
- ❖ 用户配置不同灵敏度的传声器可得到不同的测量范围
- ❖ 内部可嵌 GPS 定位系统,测量噪声的同时还可以获得准确的位置信息及运动速度(选配)
- ❖ 外接微型打印机,可现场打印测量结果(选配)
- ❖ 外接 GSM 无线数据传输模块,测量结果可及时通过 SMS 发到指定的手机或计算机(选配)
- ❖ 外接太阳能电池模块,可在野外超长时间工作(选配)
- ❖ 大容量 SD 卡存贮,最大可支持 2GB(选配)
- ❖ 精密录音功能,最长录音时间 1 小时(需选配 SD 卡大容量存贮模块),录音结果可送计算机进行频谱分析或回放(需选配相关分析软件)
- ❖ U 盘功能,仪器经 USB 接口与计算机连接后,将 SD 卡转为 U 盘(需选配 SD 卡大容量存贮模块)

#### 9.1.3 在 GB3096-2008 中的应用

##### (1) 标准对仪器的要求

测量仪器精度为 2 级及 2 级以上的积分平均声级计或环境噪声自动监测仪器。定点监测推荐采用由全天候户外传声器、智能噪声自动监测仪器、数据传输设备、中心站及通信系统组成的环境噪声自动监测系统

##### (2) 测量指标

定点监测法：每小时的 Leq、Ld、Ln、Lmax、L10、L50、L90

普查监测法：0、1、2、3 类区测 10min 的 Leq、Lmax,对于道路还要 L10、L50、L90,测量时间为 1 小时,可缩短到 20 min.

### (3) AWA6228 在定点监测中的使用

#### 1) 测点设置

选择能反映各类功能区声环境质量特征的监测点 1 至若干个,监测点应为户外长期稳定、距地面高度为声场空间垂直分布的可能最大值处。声场空间垂直分布的可能最大值处可以用多台仪器布置在不同的高度,同时测量比较等效声级的大小来确定。

#### 2) 仪器设置

将风球罩到仪器的传声器上,如有必要可以在前置级与仪器主机之间加入延伸电缆。打开仪器电源按“设置”键进入设置界面,设定测量时间为 20 min 或 58 min;检查频率计权是否为 A,时间计权是否为 F;光标移到“调整日历时钟”处,按“确定”键,进入时钟调整界面,检查时钟是否正确;按退出键重新进入设置界面,输入组名或选取合适的组名。按退出键回到主菜单。



#### 3) 测量前校准

进入噪声测量界面,将声级校准器套入传声器,打开声级校准器电源开关,读取仪器上的读数,应为 93.8±0.3dB。如不是则可以进入校准界面进行校准。记录下校准时的读数。



#### 4) 启动 24 小时自动测量

进入噪声测量界面,光标移到第二个菜单项,用参数键转到“24H”模式。等待整点到达,仪器自动开始测量,也可按启动键开始第一组测量。

```

|  | t.      F 76 启动 |
|-----|
Ts=00h01m00s 计权:A F
N:MYDATA00_aihua H: 3
2008-09-19 14:43:02
Lp = 57.5 dB
R@2008-09-19 12:42:20
Ld = 62.8 dB
Ln = 0.0 dB
Ldn= 62.8 dB
| 噪声 | 24H | 列表 | Page0

```

第二个菜单项

第一组启动时间

### 5) 启动过程中查看测量结果

启动测量后，仪器可以边测边计算 Ld、Ln、Ldn；测量过程中可以查看其它时间段的数据；如果配上 AWA8570B 短信模块，每测完一个时间段，就可将结果发到指定手机上。

```

|  | t.      F 75 启动 |
|-----|
N:MYDATA00_aihua H: 4
Time Leg  Lmax Lmin<>
12: 65.8 88.9 50.4
13: 57.4 69.6 51.6
14: 60.9 76.6 53.0
15: 59.9 76.4 54.5
16: 0.0 0.0 0.0
17: 0.0 0.0 0.0
| 噪声 | 24H | 列表 | Page3

```

查看其它测量指标

查看其它时间段的数据

### 6) 测量结束

24 个小时后，仪器测量结束，在第一行的状态显示行显示“结束”。将声校准器再次套到仪器上，打开声校准器开关，读取仪器上 Lp 的显示值，它与测量前的校准示值相差应在 0.5 dB 以内。将打印机接到仪器上，按输出键可以打印出 24 小时测量结果。也可在“调阅”中选中其中一组 24 小时测量结果，按确认键显示出 24 小时分布图后，按输出键打印出 24 小时测量结果。

建议：定点监测时同时使用外接电源和仪器内部电池。如现场无法提供外接电源也可配上 AWA8570A 电源模块。

#### (4) 使用 AWA6228 进行普查

##### 1) 测点设置

对于 0~3 类区,将要普查的声环境功能区划为等大的正方形,有效网格总数应多于 100 个,测点在网格的中心。监测分别在昼间工作时间和夜间 22:00~24:00 进行。

对于 4 类区,在每个典型路段对应的 4 类区边界上或第一排噪声敏感建筑物户外。监测分昼、夜两个时段进行。

##### 2) 仪器设置

将防风罩到仪器的传声器上,如有必要可以在前置级与仪器主机之间加入延伸电缆。打开仪器电源按“设置”键进入设置界面,根据测点所处声功能区设定测量时间。0~3 类区测量时间设为 10 min, 4 类区中测量铁路、城市轨道交通地面段、内河航道两侧,测量时间为 1 小时,其它为 20 min; 检查频率计权是否为 A, 时间计权是否为 F; 光标移到“调整日历时钟”处,按“确定”键,进入时钟调整界面,检查时钟是否正确;按退出键重新进入设置界面,输入组名或选取合适的组名。按退出键回到主菜单。

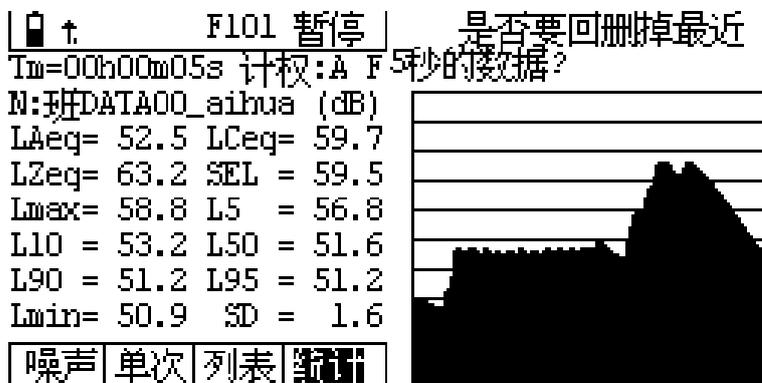


##### 3) 测量前校准

进入噪声测量界面,将声级校准器套入传声器,打开声级校准器电源开关,读取仪器上的读数,应为  $93.8 \pm 0.3$  dB。如不是则可以进入校准界面进行校准。记录下校准时的读数。

##### 4) 启动测量

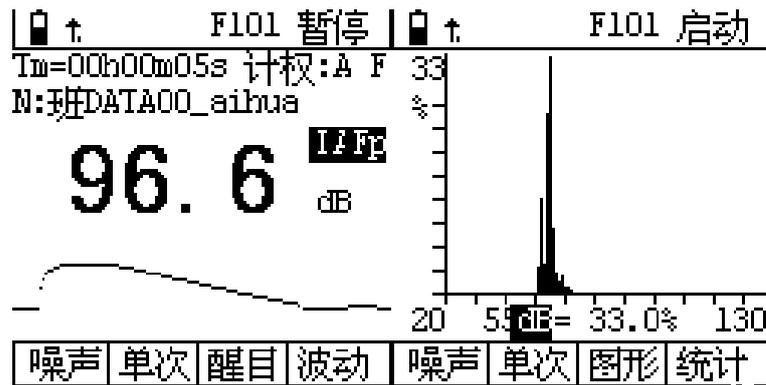
进入噪声测量界面,按启动键开始测量,当有突发噪声时,也可按暂停键暂停测量,突发噪声过去后,再按启动键继续开始测量。当突发噪声已经过去,未能提前暂停时,也可直接按删除键,仪器提示是否删除最后 5 s 的数据,确定后仪器将最后 5 s 的数据删除并继续测量。



##### 5) 启动过程中查看测量结果

仪器在测量过程中,实时计算并显示 Leq、Lmax、Lmin、L5、L10、L50、L90、L95、SD 等指标。

也可在不同的显示界面下切换而不会影响测量结果。



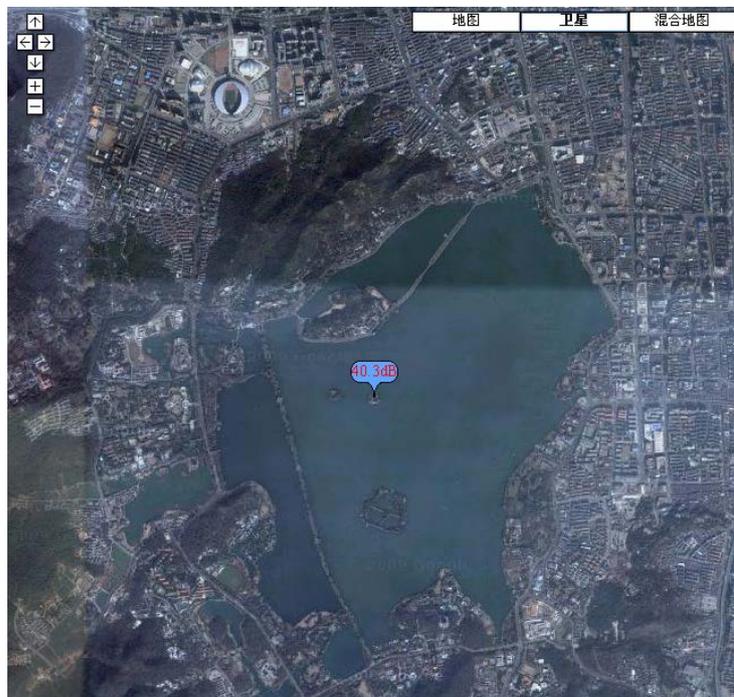
#### 6) 测量结束

到达设定的测量时后，仪器会自动停止并将数据保存起来，如果接有 AH40 打印机，还可以直接将测量结果打印出来。测量可以提前结束，当观察到  $Leq$  变化很小时，可以按暂停键，再按输出键提前结束测量。

#### 7) 其它测点

由于仪器设置已经完成，其它测点可以不需再次进入设置界面进行设置，直接进入测量界面进行测量就可以了。

建议：仪器内部配上 GPS 模块，测量噪声的同时测量定位信息，方便测点的定位及绘制噪声分布图。



#### (5) 由 AWA6228 组建的临时噪声自动监测系统

AWA6228 配上 GPS 定位模块、AWA8570 模块后，在环境噪声数据管理软件的支持下可以方便

快捷的组成一个临时噪声自动监测系统,它主要适用于一些突发事件的监测,短期内的噪声流动测量。传输采用 GSM 短信,无需复杂设置。



#### 9.1.4 在 GB12348-2008 及 GB22337-2008 中的应用

##### (1) 标准对仪器的要求

测量仪器为积分声级计或环境噪声自动监测仪,其性能至少应符合 GB/T3785.1-2010 对 2 级声级计的要求,测量 35 dB 以下的噪声应使用 1 级声级计,且测量范围应满足所测量噪声的需要。当需要进行噪声的频谱分析时,仪器性能应符合 GB / T 3241 对滤波器的要求。

##### (2) 测量指标

A 计权, 31.5、63、125、250、500Hz 中心频率点的  $L_{eq}$ 、 $L_{max}$ 。

##### (3) 厂界噪声测量

###### 1) 测点设置

一般情况下,测点选在工业企业厂界外 1 m、高度 1.2 m 以上、距任一反射面距离不小于 1m 的位置,当厂界有围墙且周围有受影响的噪声敏感建筑物时,测点应选在厂界外 1 m、高于围墙 0.5 m 以上位置。测量分昼间、夜间两个时段分别进行。当厂界无法测量到声源的实际排放状况时,同时在受影响的噪声敏感建筑物户 1 m 处另设测点。

###### 2) 仪器设置

将风球罩到仪器的传声器上,如有必要可以在前置级与仪器主机之间加入延伸电缆。打开仪器电源按“设置”键进入设置界面。对于稳态厂界设置测量时间为 1 min,对于非稳态厂界噪声,设置的测量时间为有代表性时段。检查频率计权是否为 A,时间计权是否为 F;光标移到“调整日历时钟”处,按“确定”键,进入时钟调整界面,检查时钟是否正确;按退出键重新进入设置界面,按厂界名输入组名或选取合适的组名。按退出键回到主菜单。

###### 3) 测量前校准

进入噪声测量界面,将声级校准器套入传声器,打开声级校准器电源开关,读取仪器上的读数,应为  $93.8 \pm 0.3$  dB。如不是则可以进入校准界面进行校准。记录下校准时的读数。

#### 4) 启动测量

进入噪声测量界面，按启动键开始测量，到达设定的测量时后，仪器会自动停止并将数据保存起来，如果接有 AH40 打印机，还可以直接将测量结果打印出来。对于无法确定代表性时段的非稳态噪声，可以直接观察 Leq 值，当 Leq 值变化小于 0.5 dB 时，可以按暂停键，再按输出键提前结束测量。

#### 5) 测量结束后校准

将声级校准器套入传声器，打开声级校准器电源开关，读取仪器上的读数，此读数与测量前的校准读数相差不能超过 0.5 dB，否则应先对仪器进行声校准，再重新进行厂界噪声测量。

建议：仪器内部配上 GPS 模块，测量噪声的同时测量定位信息，方便测点的定位及绘制测点位置图。



#### (4) 室内噪声测量

##### 1) 测点设置

室内测量点设在距任一反射面至少 0.5 m 以上，距地面 1.2 m 高度处。测量分开窗及关窗两种状况，开窗测量时应将受噪声影响方向的窗户打开。测量时应注意房间内的其他干扰噪声源。

##### 2) 仪器设置

打开仪器电源按“设置”键进入设置界面。对于稳态噪声设置测量时间为 1 min，对于非稳态噪声，设置的测量时间为有代表性时段。检查频率计权是否为 A，时间计权是否为 F；光标移到“调整日历时钟”处，按“确定”键，进入时钟调整界面，检查时钟是否正确；按退出键重新进入设置界面，输入组名或选取合适的组名；在较低的声环境下测量时，可将启动延时设为 2 s，避免按启动键对测量结果造成影响，也可加入延伸电缆以减少操作仪器的声音对测量结果造成影响。设置完成后按退出键回到主菜单。

##### 3) 测量前校准

进入噪声测量界面，将声级校准器套入传声器，打开声级校准器电源开关，读取仪器上的读数，应为  $93.8 \pm 0.3$  dB。如不是则可以进入校准界面进行校准。记录下校准时的读数。

#### 4) 启动测量

进入噪声测量界面，按启动键开始测量，到达设定的测量时间后，仪器会自动停止并将数据保存起来，如果接有 AH40 打印机，还可以直接将测量结果打印出来。对于无法确定代表性时段的非稳态噪声，可以直接观察 Leq 值，当 Leq 值变化小于 0.5 dB 时，可以按暂停键，再按输出键提前结束测量。

关窗测量室内噪声时要求进行倍频程频谱分析，可将光标移到第二项菜单项，用参数键将测量模式改到“OCT”模式下。注意“Rang:”后的字母，“L”表示低量程，主要用来测量低噪声的。由于标准限值较多，也可将光标移到第三项菜单项，用参数键将显示方式改为“室内”，则仪器自动判定是否超出标准限值。在进入“室内”显示方式时，应先将光标移动“类型”处，设置声功能区、昼夜间、房间类型。

F 74 准备		准备	
Ts=00h01m00s Rang: L		Ts=00h10m00s Rang: L	
16Hz= 54.9	31.5= 49.9	31.5= 49.8	限值 结论
63Hz= 50.1	125= 52.0	125= 42.6	82
250= 53.9	500= 53.4	63Hz= 48.5	67
1kHz= 49.0	2kHz= 43.3	125= 42.6	56
4kHz= 33.9	8kHz= 26.4	250= 39.4	49
16k= 25.7	W-A= 54.5	500= 38.1	43
W-C= 59.7	W-Z= 62.5	W_A= 41.8	50
噪声	OCT	列表	Lp
噪声	OCT	室内	Lp

#### 5) 测量结束后校准

将声级校准器套入传声器，打开声级校准器电源开关，读取仪器上的读数，此读数与测量前的校准读数相差不能超过 0.5 dB，否则应先对仪器进行声校准，再重新测量。

#### 6) 室内噪声测量过程中的注意事项

- 由于无法判定噪声的传播途径，所以测量时应在开窗和关窗两种情况下测量，并做好相应的记录，因为两种情况的限值不一样。
- 关窗时，室内可能存在驻波情况，测量时应在室内多选几个测点。
- 室内噪声测量应注意避开其它噪声源，测量时间不宜太长，操作人员的呼吸声及操作仪器的声音均有可能影响测量，可以加入延长电缆或使用启动延时。
- 当室内噪声较低时，应注意仪器的测量下限。

注：具体实例见 P61

建议：仪器内部配上 GPS 模块，测量噪声的同时测量定位信息，方便绘制测点位置图，仪器内部还可配上 SD 卡，可以对噪声进行录音并回放，方便主观评价，录音结果放到计算机上还可进行其它分析（需另配软件），回放时通过输出线送到另一台 AWA6228 仪器上，可以对录音结果进行噪声统计分析。

#### 9.1.5 声校准

目前的标准要求测量前后均要进行校准，两次校准值相差 0.5 dB 以上，则测量无效。实际在使用仪器时，可以在测量界面下将声校准器套到仪器的传声器上，并打开声校准器，仪器显示应为 93.8 dB，

2 级仪器示值相差小于 0.5 dB，1 级仪器示值相差小于 0.3 dB 可不需对仪器进行调节，超过这个范围时应对应仪器重新进行声校准。在主菜单上将光标移到校准上，按确定键进入校准界面。将 AWA6221A 型声级校准器套到传声器上，打开电源，稳定几秒后，将仪器的光标移到“校准”按钮上，按下“确定”键，仪器开始自动校准。在“LC”后显示声压级，这个声压级约等于校准器声压级减去自由场修正量。在“Lpx”后显示灵敏度级。在显示器的左上角显示一个数值，从 0 跳到 9 后停下来。将光标移到“应用”按钮上，按下分析仪面板上的“确定”键，新的传声器灵敏度级就被保存下来了。

The screenshot shows the calibration menu with the following text:

```

准备
1. 传声器串号: AWA14423
2. 机号: 138536
3. 自由场修正量: 0.15dB
4. 灵敏度级: -36.38dB
5. 校准声压级: 94.00dB
LC=          Lpx=
上限: 130dB  本底: 20dB
[查阅] [校准] [应用] [修改]
  
```

Callout 1 (pointing to '灵敏度级'): 要与声校准器检定证书所给出的值相同，否则应先修改到相同。

Callout 2 (pointing to 'Lpx='): 新校准出的传声器灵敏度

校准完成后，应到测量界面下，再次打开声校准器检查 AWA6228 上示值是否为  $93.8 \text{ dB} \pm 0.3 \text{ dB}$ 。如偏差过大，可以重新进行声校准。

## 9.2 环境噪声数据管理系统软件

环境噪声数据管理系统软件是一套对环境噪声数据进行收集、汇总、管理、分析的软件。本软件可以通过多种途径采集环境噪声数据，对历年的环境噪声监测数据进行科学管理，自动生成各种图表，有效提高噪声监测数据的分析及应用水平，为数字环保奠定基础。模块化设计，可以根据需要选取相应的功能，开放的接口有利与数据共享及交换。

### 9.2.1 特点:

用户权限分级，全程记录重要历史操作

可从声级计、噪声统计分析仪、噪声自动监测仪、文档中录入噪声监测数据

方便的数据查寻功能,快速查找所需信息

强大的数据分析和报表功能，让您轻松完成数据报表

噪声分布地图功能，形象反映区域的噪声污染水平

采用 Microsoft SQL Server 专业数据平台，为您提供更安全、更稳定、更可靠的信息化工具。

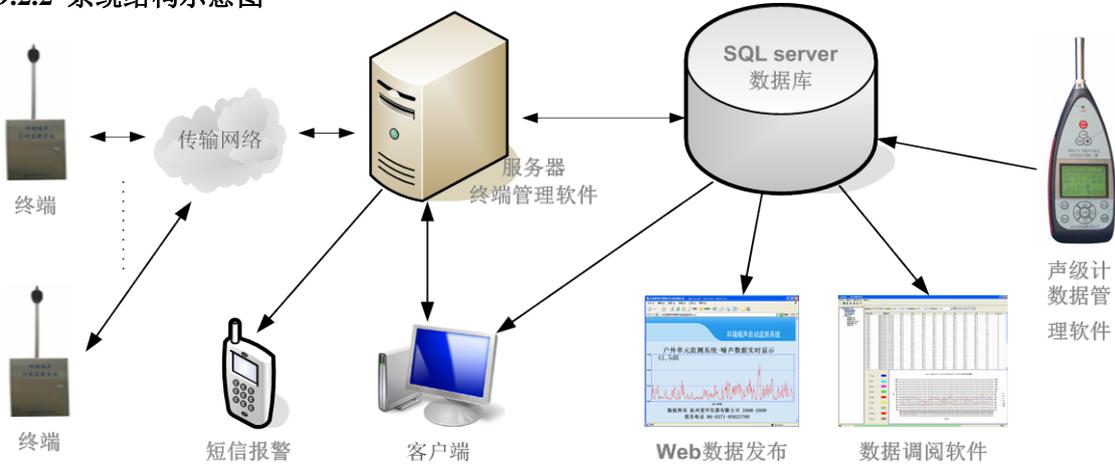
支持 Windows 2000、Windows 2003 及 Windows XP。

环境噪声数据管理软件包括以下几个模块：

- 噪声自动监测终端管理模块
- 客户端软件

- 声级计数据接收模块
- 自定义报表模块
- 噪声分布地图模块
- 数据调阅模块
- Web 数据发布模块
- 机场噪声自动监测模块

### 9.2.2 系统结构示意图



### 9.2.3 噪声自动监测终端管理模块

可以通过 Internet, RS485,电话线等通信网络控制我公司生产的 AWA6218J, AWA6218S 型噪声自动监测仪器。全新的多线程技术,可同时对多个测点进行管理。自动读取各种数据,结合人工读取,让您无需担忧数据遗失。结合短信模块,重要事件直接发送至您的手机,一切皆在掌控之中。本模块主要由以下几部分组成:

#### (1) 设备管理

对前端设备各种参数的查看与设置、数据读取并保存到数据库、文件管理,如果通过 Internet 连接,还可以通过 Ftp 直接将文件下载到中心服务器。

#### (2) 用户管理

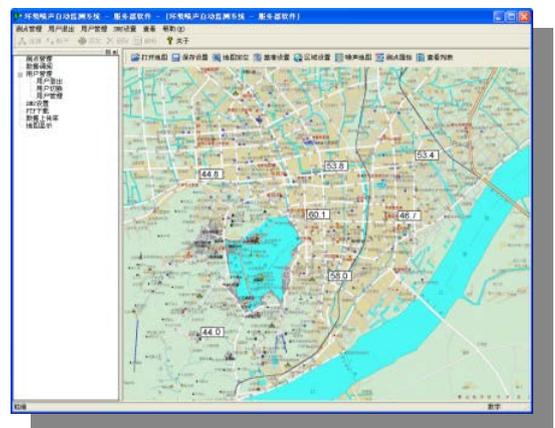
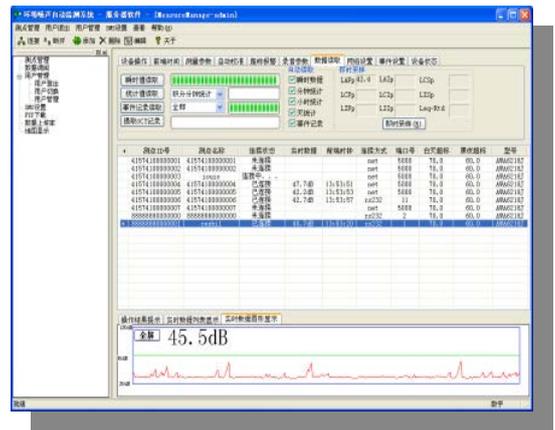
两级用户权限,普通用户只允许查看数据。管理员可任意添加用户。

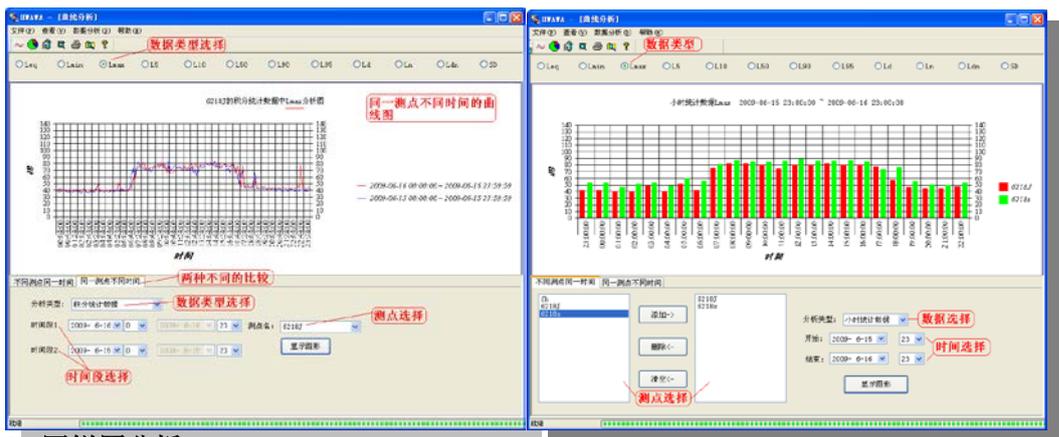
#### (3) SMS 设置

可设置报警类型,一次最多可将事件发送到七个用户手机中。使用户及时了解系统的运行状况。

#### (4) 噪声监测

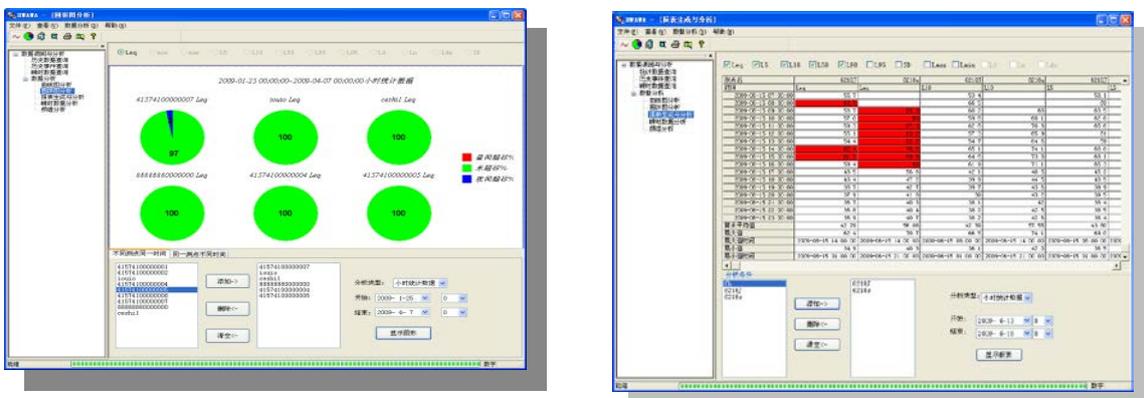
多种噪声值显示模式,可以同时看到所有测点的数据,也可查看某一测点的数值或变化趋势,可将全部测点的噪声值实时显示在城市地图上。





## 2) 圆饼图分析

用圆饼图显示任意时间段的噪声昼夜超标情况。



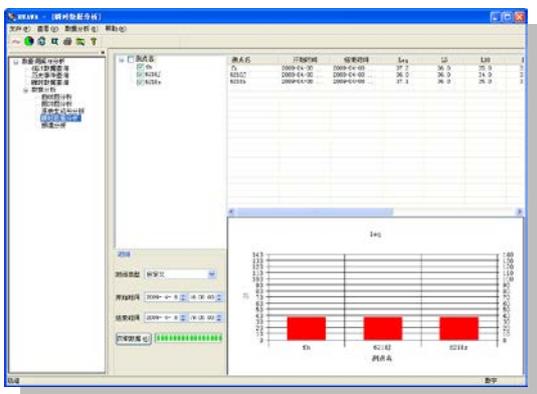
## 3) 列表分析

生成由用户指定测点及时间段的噪声数据报表。超标数据使用红色显示。

## 4) 瞬时数据分析

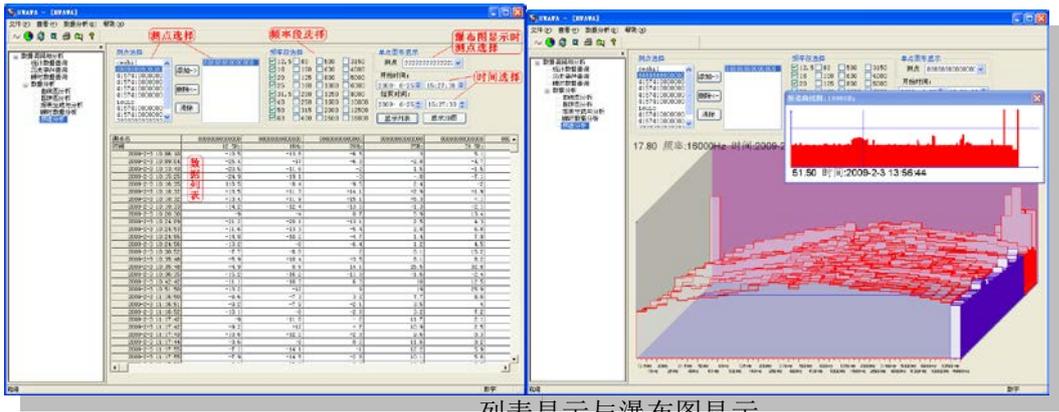
可以由用户任选测点、指定时间段，对读回的瞬时值进行统计分析。可以计算任意时间段的  $Leq$ 、 $L_{max}$ 、 $L_{min}$ 、 $L_N$ 、 $SD$  等。

(界面下方的图没有显示出来)



## (3) 频谱分析

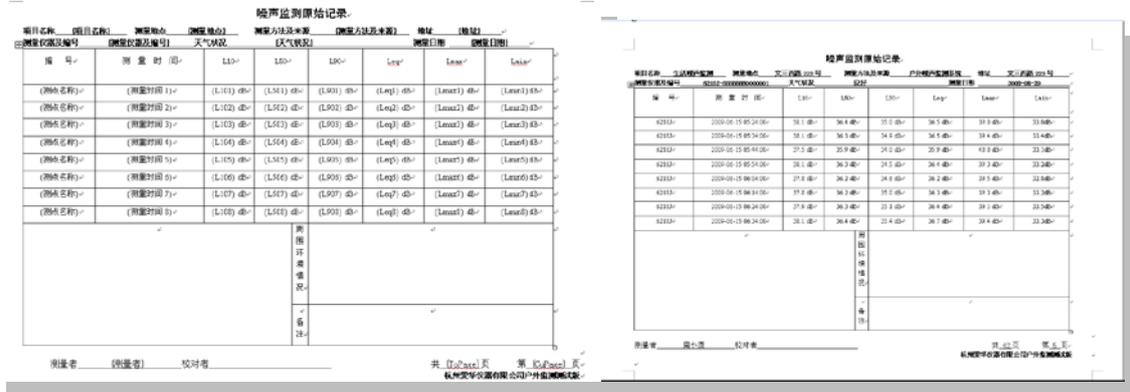
对用户指定多个测点的频谱分析结果进行列表比较，显示单个测点的三维瀑布图。



列表显示与瀑布图显示

### 9.2.7 自定义报表模块

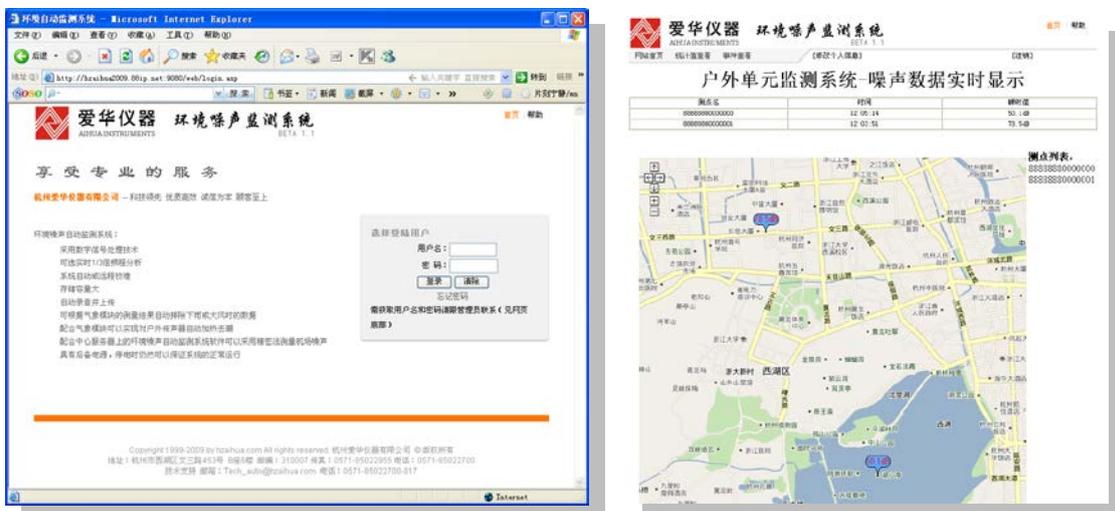
系统结合 WORD 技术开发，开放式模板设计理念，实现报表格式可视化模板设计，所见即所得。用户只要会使用 WORD、会打字就可以自行设计、修改报表,以最简单的方法满足不同用户对各种格式模板要求。

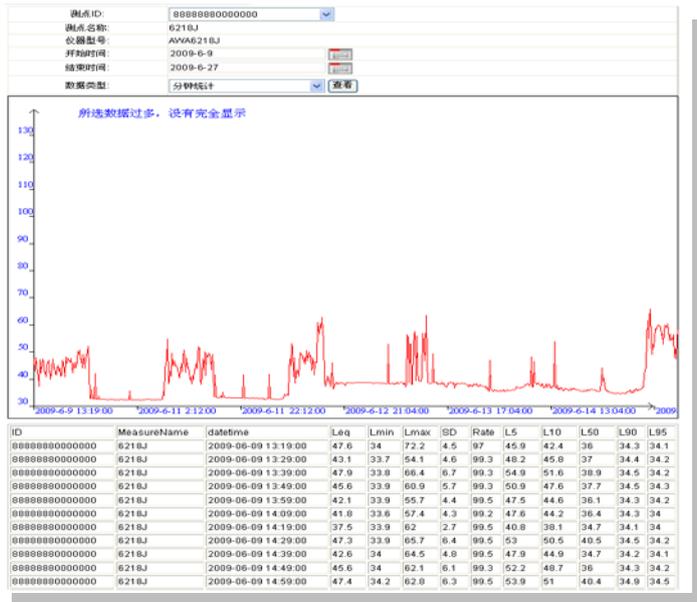


模板与实际效果

### 9.2.8 Web 数据发布系统

经过管理员授权，用户只需通过 Internet 访问 web 服务器，便可查看瞬时值、历史值、各种统计值以及各种事件。并可打印简单的日、月、年等报表。网站管理员可根据需要对不同的用户设置不同的权限。





### 9.2.9 噪声强度分布地图

用户根据城市区划、测点网络的分布等情况对城市地图进行分块，软件可以自动将数据库中保存的数据读出，根据 GPS 定位信息或测点编号将相应的颜色填入到相应的区块中，生成噪声分布图。用户可以自定义噪声的强度与颜色的关系。噪声数据可以从噪声自动监测仪中自动读出的，也可以是手持仪器中读出的，减少了过去繁琐的手工操作，准确、形象、客观的反应出城市的噪声水平。

