

Sheng jiji De Yuan li He Ying yong

声级计的原理和应用



计 量 出 版 社

张绍栋 孙家麒 编著

79.83

592

声级计的原理和应用

张绍栋 孙家麒 编著



计量出版社

1986 · 北京

8610583

DS74/04
内 容 提 要

声级计又称噪声计是用于测量声音的声压级或声级的基本最常用的仪器。本书系统介绍了声级计的分类、结构、性能、工作原理、使用方法和维护修理知识，概述了声学 and 噪声基本知识、工业噪声、环境噪声的容许标准。另外结合声级计的使用介绍声级计在工业噪声测量，环境噪声测量，建筑声学测量，电声测量和振动测量中具体应用。

本书可供计量测试、工业交通、环境保护、机械制造、建筑设计、医疗卫生以及国防工程等从事声学测量人员、工程技术人员和工人参考。

声 级 计 的 原 理 和 应 用

张绍栋，孙家麒 编著

责任编辑 陈艳春

计量出版社出版

(北京和平里卫区7号)

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/32 印张 8

字数 184 千字 印数 1—17 000

1986年3月第一版 1986年3月第一次印刷

统一书号 15210·517

定价 1.65元

0260104

前 言

声级计，又叫噪声计，是一种用于测量声音的声压级或声级的仪器，是声学测量中最基本而又最常用的仪器。随着国民经济的发展和人们物质文化生活水平的提高，噪声普查和环境保护工作全面开展，机器制造行业已把噪声作为产品的重要质量指标之一，礼堂和体育馆等建筑物不仅仅要求造型美观，也追求音响效果，这些都使得声级计的应用越来越广泛。现在它不仅应用在声学 and 电声学测量中，而且已经广泛应用于机器制造、建筑设计、交通运输、环境保护、医疗卫生以及国防工程等各个领域，成为几乎所有部门都必须具备的声学测量仪器。

近几年来，随着电子技术的飞速发展，声级计日趋完善、准确、可靠，朝着小型化、数字化、多功能、快速测量方向发展。现在，世界上已经成批生产了脉冲声级计、数字声级计和噪声剂量计等新型声级测量仪器，而且出现了带微处理器的智能声级计，它能按照事先编制的程序自动进行测量和记录，并将测量结果计算和打印（或显示）出来，从而大大简化了人们的重复劳动和繁琐计算。至于利用声级计将声音变成电信号进行实时数字信号分析和处理，更使声学测量在各种领域中的应用呈现出广阔的前景。

多年来在与许多声级计使用者接触中，了解到他们中的大多数人不是电气工程技术人员，更不是声学工作者，甚至往往是第一次接触声学测量仪器。这些同志迫切希望能有一本关于声级计的原理和使用方面的参考书，有的还希望了解

一些直接有用的声学基础和测量知识，本书就是为此而编写的。书中系统地介绍了声级计的分类、结构、性能、工作原理、使用方法和维修知识，概述了声学 and 噪声的基本知识，工业噪声和环境噪声的容许标准，另外还结合声级计的使用，介绍了声级计在工业噪声测量、环境噪声测量、建筑声学测量、电声测量和振动测量中的具体应用。

书中介绍的各种测量方法，绝大部分取材于国际标准化机构（ISO 和 IEC）颁布的标准和我国国家标准与专业标准。但是，由于国际标准与国家标准和专业标准之间往往会有一定的差别，有些标准还处于制订过程中，已有的标准也会有所修改，因此书中所述只能作为声级计应用的举例说明，在具体测量时，应该按照最新的有关标准进行。

本书为广大声级计使用者提供了查询有关声学 and 噪声测量方法并在具体实践中正确使用声级计提供了较为全面的资料，同时也可供从事声学专业工作和声学测量仪器设计与制造的工程技术人员、工人和大专院校师生参考。

在编写本书的过程中，中国计量科学研究院于渤、汪汉春同志，北京劳动保护科学研究所方丹群同志，江西红声器材厂王忠毅、王信权、冯俊高、柯士丰同志等对本书提出了许多宝贵意见，在此谨向他们表示感谢！

目 录

第一章 声音与噪声	(1)
§ 1.1 声波	(1)
§ 1.1.1 振动与声	(1)
§ 1.1.2 声音的性质	(2)
§ 1.1.3 声波的传播特性	(10)
§ 1.1.4 声波的衰减和吸收	(15)
§ 1.2 噪声及其危害	(18)
§ 1.2.1 噪声	(18)
§ 1.2.2 噪声的频谱	(21)
§ 1.2.3 噪声的危害	(24)
§ 1.3 噪声的评价	(25)
§ 1.3.1 响度级和响度	(25)
§ 1.3.2 声级和A声级	(28)
§ 1.3.3 等效连续声级 L_{eq}	(30)
§ 1.3.4 噪声暴露量(噪声剂量)	(31)
§ 1.3.5 统计声级 L_N	(32)
§ 1.3.6 噪声评价数NR	(33)
§ 1.3.7 感觉噪声级(PNdB)和噪度(呐)	(34)
§ 1.4 噪声容许标准	(36)
§ 1.4.1 听力保护的噪声容许标准	(36)
§ 1.4.2 噪声干扰的评价标准	(37)
§ 1.4.3 语言可懂度的噪声容许标准	(39)
§ 1.4.4 机动车辆噪声标准	(40)
§ 1.4.5 机床噪声的容许标准	(41)

第二章 声级计的原理	(42)
§ 2.1 概述	(42)
§ 2.1.1 声级计的类型	(42)
§ 2.1.2 声级计工作原理方框图	(45)
§ 2.2 传声器	(47)
§ 2.3 前置放大器	(52)
§ 2.4 放大器	(55)
§ 2.5 衰减器	(57)
§ 2.6 计权网络	(58)
§ 2.7 检波电路	(62)
§ 2.8 指示器	(66)
§ 2.9 电源	(68)
§ 2.10 脉冲声级计	(69)
§ 2.11 数字声级计	(75)
§ 2.12 积分声级计	(77)
§ 2.13 噪声暴露计(噪声剂量计)	(79)
§ 2.14 统计声级计	(82)
第三章 声级计的使用	(86)
§ 3.1 声级计的使用方法	(86)
§ 3.1.1 使用前的校准	(86)
§ 3.1.2 声压级和声级的测量	(88)
§ 3.1.3 测量注意事项	(89)
§ 3.2 声级计附件的选用	(94)
§ 3.3 滤波器 和频谱分析	(96)
§ 3.3.1 滤波器的概念	(96)
§ 3.3.2 滤波器的主要性能	(98)
§ 3.3.3 倍频程滤波器	(100)
§ 3.3.4 噪声的频谱分析	(102)

§ 3.4 信号的记录和储存	(106)
§ 3.4.1 信号的记录	(106)
§ 3.4.2 信号的储存	(110)
第四章 声级计在噪声测量中的应用	(112)
§ 4.1 噪声测量和声级计的选择	(112)
§ 4.2 城市环境噪声测量方法	(114)
§ 4.2.1 城市区域环境噪声普查方法	(115)
§ 4.2.2 城市交通噪声的测量方法	(116)
§ 4.2.3 城市环境噪声监测方法	(117)
§ 4.3 工业企业噪声测量	(119)
§ 4.3.1 生产环境(车间)噪声测量方法	(119)
§ 4.3.2 工业企业现场机器噪声的测量	(121)
§ 4.4 汽车噪声的测量	(123)
§ 4.4.1 车外噪声测量	(123)
§ 4.4.2 车内噪声测量	(124)
§ 4.4.3 车辆喇叭声学特性测量方法	(125)
§ 4.5 轨道车辆噪声测量	(127)
§ 4.5.1 轨道车辆向外辐射噪声的测量	(128)
§ 4.5.2 轨道车辆内的噪声测量	(131)
§ 4.6 飞机噪声测量	(132)
§ 4.6.1 飞行中飞机向外辐射噪声的测量	(132)
§ 4.6.2 飞机舱内的噪声测量	(135)
§ 4.7 船舶噪声测量	(137)
§ 4.7.1 内河航线和港口船只噪声测量	(137)
§ 4.7.2 船上噪声测量	(139)
§ 4.8 噪声源声功率级的测量	(141)
§ 4.8.1 噪声源声功率级的工程测量方法	(142)
§ 4.8.2 噪声源声功率级的调查方法	(148)
§ 4.8.3 噪声源声功率混响室精密测量方法	(150)

§ 4.8.4 环境修正值 K 的测量与计算方法	(156)
§ 4.9 金属切削机床噪声测量	(158)
§ 4.10 内燃机噪声测量	(160)
§ 4.11 电机噪声测量	(163)
§ 4.12 家用电器的噪声测量	(166)
§ 4.13 风机和罗茨鼓风机噪声测量	(169)
§ 4.14 容积式压缩机噪声测量	(171)
第五章 声级计在其它测量中的应用	(174)
§ 5.1 建筑声学的测量	(174)
§ 5.1.1 混响室法吸声系数的测量	(174)
§ 5.1.2 建筑和建筑构件的隔声测量	(178)
§ 5.2 厅堂混响时间的测量	(185)
§ 5.3 电声的测量	(187)
§ 5.3.1 扬声器频率特性和灵敏度的测量	(187)
§ 5.3.2 耳机电声性能的测量	(189)
§ 5.3.3 听力计的校准	(191)
§ 5.4 振动的测量	(195)
§ 5.4.1 振动测量概述	(195)
§ 5.4.2 加速度计的工作原理	(198)
§ 5.4.3 振动加速度、速度和位移的测量	(203)
§ 5.4.4 振动测量换算尺的使用	(207)
§ 5.4.5 冲击的测量	(209)
§ 5.4.6 电机振动测定方法	(210)
第六章 声级计的维修与试验	(213)
§ 6.1 声级计维护注意事项	(213)
§ 6.2 声级计常见故障分析和修理	(214)
§ 6.3 声级计灵敏度的校准	(214)
§ 6.3.1 替代法	(217)
§ 6.3.2 活塞发声器	(218)

§ 6.3.3 声级校准器.....	(222)
§ 6.4 声级计整机频率响应的测量	(224)
§ 6.4.1 声级计自由场响应的测量	(224)
§ 6.4.2 利用静电激发器测量频率响应	(225)
§ 6.5 声级计指向特性的测量.....	(227)
§ 6.6 声级计检波特性的测量.....	(229)
§ 6.7 声级计时间计权特性的试验	(233)
参考文献.....	(237)
引用标准目录	(239)

第一章 声音与噪声

§ 1.1 声 波

§ 1.1.1 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。在敲响的鼓皮上扔一个小纸团，小纸团就会随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了，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

8610583

1

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呢？或者说声音靠什么传播呢？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，余此类推，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至我们的耳中，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，工人采用这种方法，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。

§1.1.2 声音的性质

1. 声压和声压级

声音的第一个特点就是有强弱之分。

我们仍以鼓皮发声为例，简单谈一下声音的强弱是怎么回事。振动的鼓面，在其平静位置上下往返运动，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，声音就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，

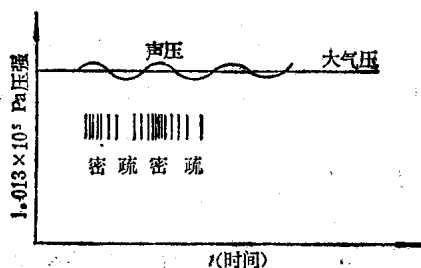


图 1.1 声音是大气压上的压强波动

其单位是Pa（帕）， $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ （牛顿/米²）。一个大气压等于 $1.013 \times 10^5\text{Pa}$ 。

鼓皮敲得重，上下振动的剧烈，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，有效值是瞬时声压平方值在一段时间的平均数的平方根，又称为均方根（rms）值。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；可是喷气式飞机附近的声压可达数百帕斯卡，这是人耳能短时忍受的最大声压了，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，声压相差数百万倍。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，同时考虑了人耳对声音强弱反应的（对数）特性，（用对数方法）将声压分为百十个级，称为声压级。

声压级的定义是：声压与参考声压之比的常用对数乘以 20，单位是 dB（分贝）。声压级的数学表达式为：

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (1.1)$$

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

如 $p = p_0$ ，则 $L_p = 20 \lg 1 = 0 \text{ dB}$ ；如 $p = 2 \times 10^2 \text{ Pa}$ ，则 $L_p = 20 \lg 10^7 = 140 \text{ dB}$ 。

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 $p_{\Sigma} = \sqrt{p_1^2 + p_2^2}$ ，声压级

$$L_{p_{\text{合}}} = 20 \lg \frac{\sqrt{p_1^2 + p_2^2}}{p_0}$$

当 $p_1 = p_2$ 时, 则 $L_{p_{\text{合}}} = 20 \lg(\sqrt{2} p_1 / p_0) = L_{p_1} + 3 \text{ dB}$.
即声压加倍, 声压级仅增加 3dB. 同样通过计算可以得知, 声压增加 10 倍, 声压级增加 20 dB, 声压增加 100 倍, 声压级增加 40 dB.

以上例子说明, 两个声压级或多个声压级相加绝不是 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 $|L_{p_1} - L_{p_2}|$ 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 ΔL 的和表示:

$$L_{p_{\text{合}}} = L_{p_{\text{大}}} + \Delta L \quad (1.2)$$

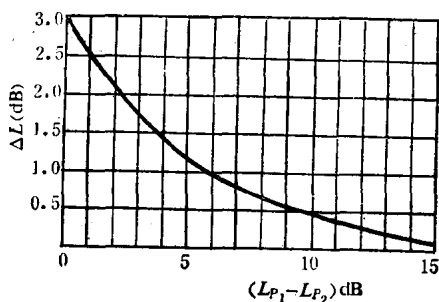
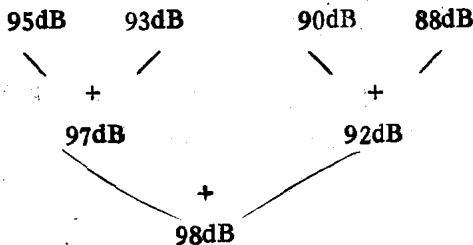


图 1.2 合成声压级的增量图

如两个声压级分别为 100dB, 95dB, 则合成声压级 $L_{p_{\text{合}}} = 100 + 1 = 101(\text{dB})$. 对于多个声压级合成, 先找其中两个相加, 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, 93, 90, 88dB 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98dB。

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²)。声强与声压的平方成正比, 对于平面波声场, 声强 I 和声压 p 的关系用下式表示:

$$I = \frac{p^2}{\rho c} \quad (1.3)$$

式中: ρ 是介质密度; c 是声速。介质密度和声速的乘积 ρc 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℃ 时, $\rho c = 414 \text{ Pa} \cdot \text{s/m}$ (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:

$$P = \oint_S I_n dS \quad (1.4)$$

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:

$$P = I_r 4\pi r^2 \quad (1.5)$$

式中: I_r 是距点声源为 r 处的声强。

如果声源在开阔空间的地面上, 声波只向半球面辐射, 此时

$$P = I_r \cdot 2\pi r^2 \quad (1.6)$$

这里 I_r 是在半径等于 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

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
100 000	170	有后燃室的涡轮喷气发动机
10 000	160	3125kg推力涡轮喷气发动机
1 000	150	四桨引擎客机
100	140	75人乐队 } 1/8s间歇内峰值 管 风 琴 }
10	130	小型飞机发动机
1	120	大型鑿平锤
0.1	110	钢 琴 } 1/8s间歇内峰值 大 号 }
0.01	100	大音量的收音机
		离心通风机 (368m³/min)
0.001	90	1.2m织机
		公路上汽车
		轴流风扇 (42.5m³/min)
0.0001	80	喊叫声 (长期平均有效值)
0.00001	70	谈话声 (长期平均有效值)
0.000001	60	
0.0000001	50	
0.00000001	40	
0.000000001	30	很轻的耳语声
		青年人听阈
10 ⁻¹²	0	