

第一节 声学测量概述

一、声源特性测量和传声途径声学特性测量

声学测量是使用声学仪器对声传输系统的声学特性进行测量了解。一个声传输系统，包括产生声音的声源、声音传输的途径和声音的接收者。在建筑声学测量中，通常需要了解的是声源特性和声传输途径的特性。前者包括声源的频谱、指向性、声功率及其时间分布特性等，后者是指材料、结构和建筑空间的声学特性，如吸声特性、隔声特性、衰减过程和混响时间等等。

对于声源特性的测量，声音由被测对象发出，测量时通常只需要配置声接收系统。为了排除各种不同传输途径的影响，以便于不同声源的相互比较，通常要规定标准的传输途径，最常用的是自由场和混响场，即把待测声源置于标准化的消声室和混响室中进行测量。但有时因为声源体积和重量很大或搬移安装困难等原因，不能把声源移置到试验室中测量，或者声源的特性需要结合现场环境来了解，如厅堂扩声系统、交通噪声和环境噪声等，就需要在现场进行测量。在现场测量中有时为了得到声源“本身”的特性，即相应于放置在自由场中的特性，需要从测量结果中“去除”现场环境的影响，这有时是很困难的。近年来发展起来的一些新的测量技术，如相关测量、声强测量等，有助于这方面问题的解决。

对于声传输途径特性的测量，即材料、结构和建筑空间的声学特性的测量，被测对象本身不产生声音，测试时需要配置声源系统，并对所用的声源和声信号作出标准化的规定。当然，接收系统总是需要的。对于材料和结构的声学特性测量，为了便于不同个体和种类间的比较，也要规定一定的传输条件。然后把标准化了的试件按规定的方式纳入传输系统进行测量。这种测量通常也在试验室中进行。对建筑空间的声学特性的测量通常是在现场测量。

二、声学测量的仪器设备

声学测量用的声源系统通常可分为两类：一类是非电子设备的声源例如用于产生脉冲声的发令枪、爆竹、汽球(爆裂发声)、电火花发生器和产生宽带稳态噪声的气流噪声源、标准打击器等；另一类是电子设备声源，通常由信号发生器、滤波器、放大器和扬声器组成，见图 15-1。

接收系统通常由传声器、放大器、滤波器、显示装置、记录装置、数据处理装置等组成，见图 15-2。

传声器是声学测量中接收系统的“起点”，其作用是把被测的声学物理量转换成电学物理量，而后面的仪器设备都是处理电学物理量的。基本的声学物理量是声压、质点速度和位移。因为测量声压的传声器比测量质点速度和位移的传声器制造起来简单容易而且有很好的性能，又因为作为人接收声音的器官——耳朵也是一个受压强作用的接收器，所以现在广泛使用的各种传声器都是把声压转换成电学量(通常是电压)。因此，声学测量的最常用的基本声学物理量是声压。

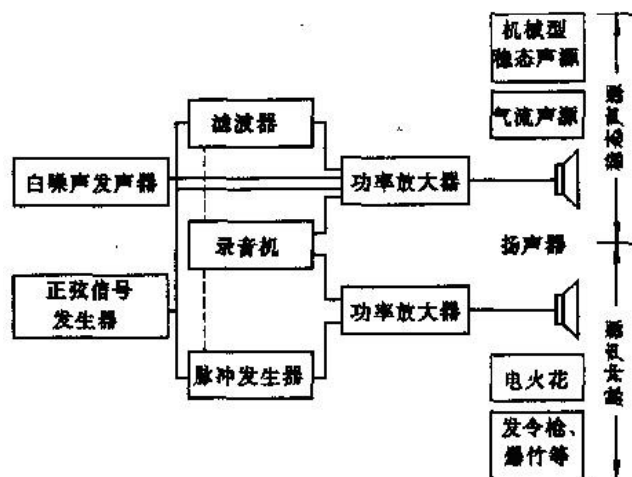


图 15-1 声源系统框图

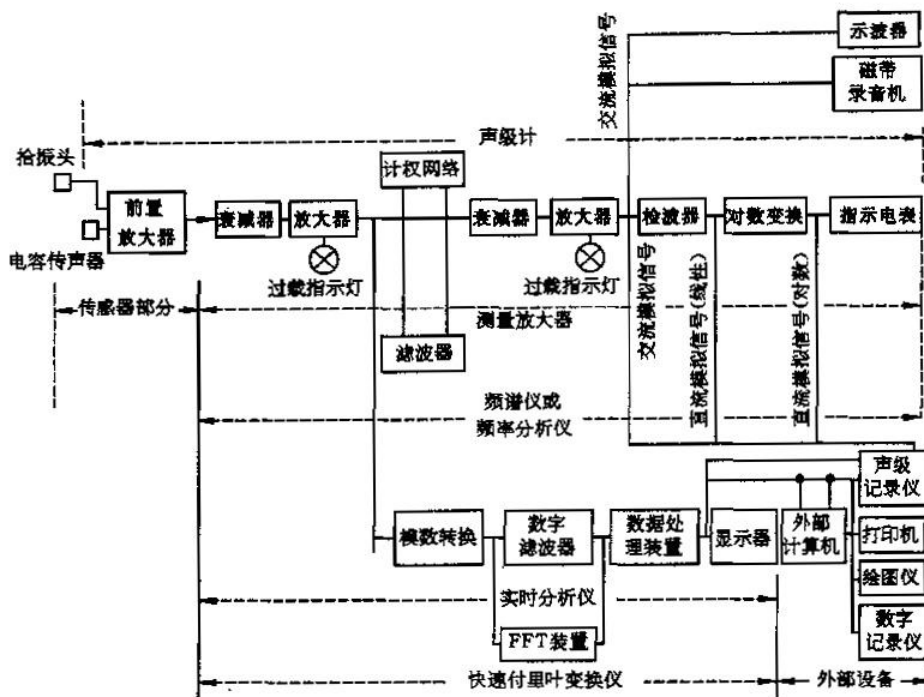


图 15-2 声学测量的接收系统框图

按传声器的构造分，有晶体式、动因式、驻极体式和电容式等等。在声学测量中，使用最普通的是电容传声器。它具有灵敏度高(即在一定的声压作用下输出的电压高)，频率响应平直(即在很宽的频率范围内，在大小相同的声压作用下输出的电压保持相同)，动态范围大(可以测量很低的声压到很高的声压)，性能稳定等优点。对一个传声器除了要了解它的灵敏度、频率响应、动态范围等性能外，还要了解它的指向性和使用条件，如环境要求、极化电压等。

无论是声源系统或接收系统中，通常都加有滤波器。在滤波器的输入端加上一宽频带的信号，通常是和声压相对应的电压，在滤波器输出端只有一定宽度频带的信号被输出。一个理想的滤波器对所需频带宽度 $f_1 \sim f_2$ (称为“通带”)中的信号没有衰减，让其通过；对通带以外的信号，即小于 f_1 和大于 f_2 的各频率信号全部衰减掉，不能通过。理想滤波器的频

率特性如图 15-3 所示。

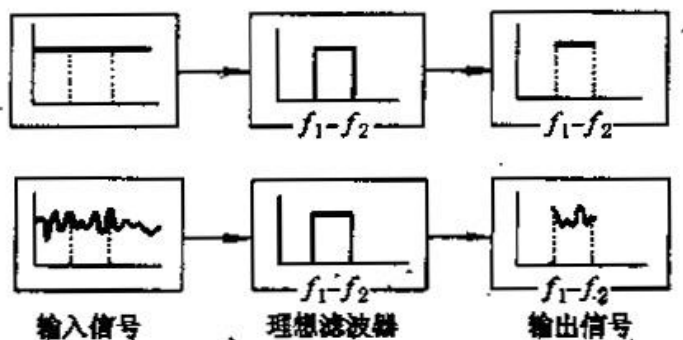


图 15-3 理想滤波器

但实际的滤波器对通带以内的信号会有一定程度的不规则衰减，而对通带以外的信号也衰减得不干净，见图 15-4。通常把滤波器通带两侧衰减 3dB 的频率叫做滤波器的截止频率，高端的叫做高截止频率 f_2 ；低端的叫做低截止频率 f_1 ； $\Delta f = f_2 - f_1$ 叫做滤波器的带宽； $f_c = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$ 叫做滤波器的中心频率。于是，一个滤波器就可以用中心频率 f 和带宽 Δf 来表示。

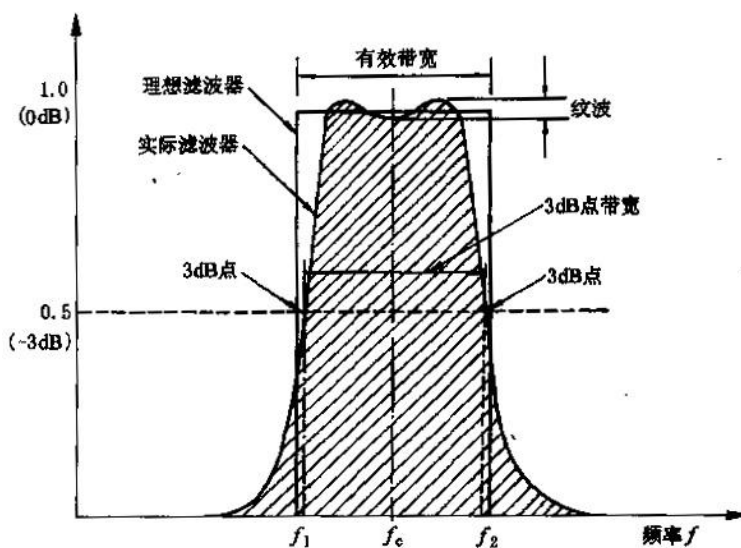


图 15-4 实际滤波器与理想滤波器的比较

以上讨论的只是一个滤波器单元，通常所用的滤波器是由中心频率各不相同但互相衔接的滤波单元组合而成。各中心频率和带宽满足一定的规律。声学测量中最常用的滤波器是“倍频程滤波器”和“1/3 倍频程滤波器”。它们的中心频率和带宽的关系已在第一章中叙述过了。

在声学测量系统中，加滤波器的目的主要是为了了解被测对象的频率特性和把不需要的频率成分滤除掉，以改善接收系统的信噪比，减少噪声对所需信号的干扰。

为了在声学测量时能反映客观声音的主观感觉，需要考虑到人耳的频率响应。在接受系统中可以插入和人耳频率响应相近的计权网络，对不同频率成分作不同的计权衰减，使测得的声学量——声级能和人的主观感觉比较一致。常用的计权网络有 A, B, C, D 四种，见

本书第十章。如果对各频率成分都“一视同仁”，不加衰减，称为“线性”（档）。

把传声器、放大器、计权网络和显示装置(电表指示或数字显示)组成一个仪器，就是声学测量中广泛应用的声级计，图 15-5。有时也把倍频程滤波器或 1/3 倍频程滤波器和声级计组合在一起，成为一件便携式仪器。



图 15-5 各种型号的声级计

把放大器、滤波器、计权网络、显示装置组合在一起，就组成频谱仪或频率分析仪。前者的滤波器通常是 1/3 倍频程和倍频程滤波器，中心频率固定；后者的滤波器通带宽度通常是等百分比的，即 Δf 是 f_c 的某个百分比，中心频率往往连续可调。

声级记录仪可以把测量结果以曲线形式记录在记录纸上；屏幕显示装置可以把测量结果直观地显示出来；磁带录音机可以把测量信号记录在磁带上保存和重放；而数据处理设备(专用或通用的电子计算机)可以对测量数据作各种运算、处理和分析，以得到所需的信息，并加以存储、显示相输出(打印或绘图)。正是因为数字处理技术的发展，产生了许多新型的声学测量仪器，使测量过程自动化，显示结果直观化，大大节省了人力，提高了精度，缩短了作业时间，甚至作到实时分析。但是传声器、放大器、滤波器仍然是各种声学测量仪器的基本装置。

第二节 建筑环境中的噪声测量

建筑环境的噪声测量是为了了解在某个建筑环境中因为噪声源的存在而对测量点处产生的噪声情况：声级、频谱和时间特性等。因为噪声源的种类很多，差别很大，所以对不同的噪声源和在不同的环境中测量的方法有所不同。但总是在适当的位置，在适当的时间，测取适当的频带声压级或计权声压级。环境噪声测量的目的是为了了解噪声对人的影响，所以必须和人的主观感觉相联系。各种噪声测量方法正是根据噪声源的特性、环境的特性和对人的影响来确定测量的地点、时间和频带范围。

从噪声的时间分布特性来看，噪声通常可分为稳态噪声、脉冲噪声和随机分布噪声。稳态噪声是指在相当长的时间内，噪声是稳定的，其强度和频谱没有太大的变化，如风机噪声、电机噪声等。脉冲噪声的持续时间很短，如冲击和撞击噪声，有的脉冲噪声以一定的间隔周期性地连续重复。随机分布噪声是声源的发声是随机的，或者发声体的出现和消失是随机的，这就使得观测点接收到的噪声是随机的，噪声级随时间起伏变化，又称“起伏噪声”，如街

道交通噪声、建筑空间中的人群活动噪声等。

对于稳态连续噪声，通常用声级计测量 A 计权声级，记为 dB(A)。同时亦可测量 B、C 计权和线性档声级，以粗略估计噪声的低、中、高频成分的大致分布。如果要求作频谱分析，可配合倍频程或 1/3 倍频程滤波器，测量各频带声压级，得到噪声频谱。测点位置通常是在声源附近(以了解声源情况)和接收者的代表性位置(以了解噪声对人的干扰)。

测量前要对声级计进行校准。通常用一个标准声源，如产生 1000Hz、94dB 纯音的声级校准器或 250Hz、124dB 的活塞发声器。声级计接收标准声源的声音，调节灵敏度使指示读数正好是规定的声压级。

如果要求知道某个具体噪声源在总的环境噪声中的作用，可分别测量这个噪声源参与运行和单独停止后的声级 L_1 和 L_2 ，后者称为背景噪声级。当 $L_1 - L_2 > 10dB$ ，可以忽略背景噪声的影响。 L_1 就是这个噪声源产生的声级 L_p 。否则应在 L_1 中减掉背景噪声的影响：

$$L_p = L_1 - \Delta L, \quad \Delta L \text{ 是 } L_1 - L_2 \text{ 确定的修正值。}$$

对于脉冲噪声，需要用脉冲声级计来测量。这种声级计具有脉冲保持档，在脉冲声过后，可以把脉冲声的声级保持住，便于读取。如果需要进一步了解脉冲声的时间特性，如脉冲声延续时间、脉冲形状等，就需要用示波器或其他脉冲分析仪器，这里就不讨论。

对于随机噪声，如果起伏不大，或者只要求测量一个短时间(1 秒至数秒)内的值，可以用声级计慢档读取一个平均数。如果随机噪声起伏较大而又要了解较长时间内(几分钟、几小时，甚至一天)的噪声情况，显然只读取一两个测量值是不行的。这时需要测量统计噪声级(或称累积分布声级)。

统计噪声级是在相当长的一段时间 T 内，以一定的取样间隔 Δt ，读取 $n = T / \Delta t$ 个声级(通常是 A 声级)数值。例如交通噪声的统计噪声级测量就是以 $\Delta t = 5s$ ，连续读取 $n=200$ 个 A 声级数，大约为 17min。然后对所得到的 n 个数据按从大到小的顺序排列，可得到下述各统计声级； L_{10} ， L_{50} 和 L_{90} ，分别对应于有 10%，50%，90%的读数大于该统计声级。例如把 200 个数据按从大到小排列，第 20 个数值是 L_{10} ，第 100 个数值是 L_{50} ，第 180 个数值是 L_{90} 。

L_{10} 反映了随机噪声的峰值， L_{50} 反映了平均值， L_{90} 反映了背景噪声。

等效连续声级相当于以一个稳定的连续噪声来替代随机噪声，两者在时间了内具有的能量相同。

第三节 混响时间测量

混响时间测量是建筑声学中最经常的测量。一方面，混响时间是目前用于评价厅堂音质的最重要的和有明确概念的客观参量；另一方面，吸声材料相结构的扩散入射吸声系数的测量、围护结构的隔声测量、声源声功率测量等项目都需要进行混响时间测量。

测量混响时间的常规设备如图 15-6 所示。

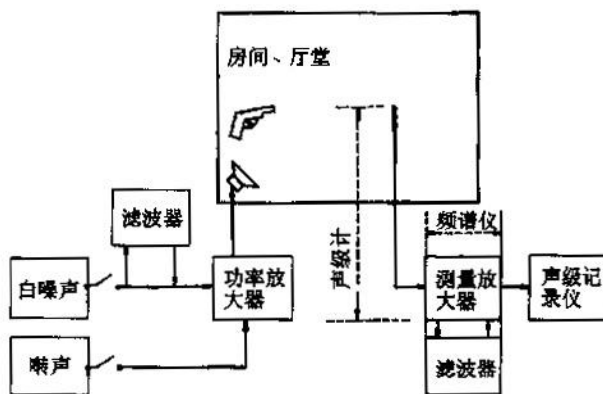


图 15-6 混响时间测量仪器布置框图

由信号发声器通过放大器驱动扬声器发出声音，传声器把接收到的声能转换为电能输出给放大器相滤波器，然后加到声级记录仪上。在扬声器发出的声音使房间声场激发达到稳态后的某个瞬间，用开关切断信号。通过纸带或数字采样等记录方法，绘出声压级(dB 数)衰减的曲线。图 15-7 是衰减曲线的示例。

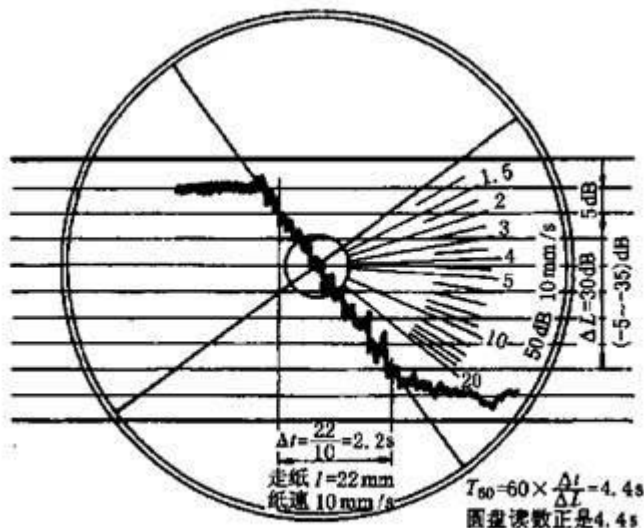


图 15-7 混响曲线和混响时间的度量

常用的声源信号有两种：一种是调频的正弦信号，称为“啜音”，调制的频率约 10Hz。采用啜音是为了避免单纯正弦信号会出现驻波现象。另一种是用窄带无规噪声，这是在粉红噪声发生器后面加接倍频程或 1/3 倍频程滤波器而得到的。在厅堂混响时间测量时，声源信号也可以用脉冲声，再采用脉冲反响积分法的方法计算混响时间。通常使用的脉冲声源有发令枪、爆竹、汽球爆裂等。

混响时间是从记录仪记录下的衰减曲线得出的。通常用相应于一定的走纸速度和横坐标 (dB 数)刻度的透明圆盘，使衰减曲线回归成一条直线，根据此直线的斜率 $\Delta L / \Delta t$ (dB/s)，即可用下式得到混响时间：

$$T = 60 \times \frac{\Delta t}{\Delta L} \quad \text{s} \quad (15-1)$$

实际上从混响圆盘上可直接读出混响时间(图 15-7)。

通常是从衰减曲线上稳态声级的(-5~ -35)dB 的范围来决定衰减斜率。

新近的一些声学测量仪器已可以自动测量混响时间，以数字直接显示并打印出来，无需人工去量混响曲线。但是声级记录仪画出的混响曲线，除了可用于量出混响时间外，还包含着衰减过程的信息，有时还是很需要的。

在厅堂音质的混响测量中，声源通常是放在自然声源的位置，如舞台中央大幕线内 3m，高度离舞台面 1.5m 左右。传声器位置选取有代表性的几个点，如观众区的池座前区、中区、楼座、挑台下等(如果平面对称，则仅布置在一半上即可)。在混响室内测量时，声源通常放在室内一角，传声器位置取 3-5 点，各点均应离开房间界面 1m 以上，并离开声源 1m 以上。

测量的频率，对于厅堂音质通常为(125—4000)Hz 倍频程的中心频率，对于混响室测量也可以来用 1/3 倍频程的中心频率。每个测点每个频率在低频(500Hz 以下)测取 6 条混响曲线，取其平均值，在中、高频测取 3 条混响曲线加以平均。