

建筑声学设计手册

中国建筑科学研究院建筑物理研究所
(主编)

清华大学建筑系
同济大学声学研究所
上海工业建筑设计院研究室 编
上海市民用建筑设计院研究室
北京市建筑设计院研究所

中国建筑工业出版社

第一章 名词与术语

车世光

第一节 声学基础

声学 acoustics 研究声波的产生、传播、接收和效应的科学。

建筑声学 architectural acoustics 研究与建筑环境有关的声学问题的科学。它包括厅堂音质与建筑环境噪声控制两大部分，其目的是创造符合人们听闻要求的环境。

简谐运动 simple harmonic motion 以时间为正弦函数的运动。例如单摆的运动。

振荡、振动 oscillation vibration 一个物理量在观测时间内不停地经过最大值和最小值而变化。总的称为振荡，振动是指物理量代表一个机械系统运动参量时的振荡。

声波 sound wave (1) 弹性媒质中传播的压力、应力、质点位移、质点速度等的变化或几种变化的综合。(2) 声源产生振动时，迫使其周围的空气质点往复移动，使空气中产生在大气压力上附加的交变压力，这一压力波称为声波。

纵波 longitudinal wave 媒质中质点沿传播方向运动的波。声波即为纵波。

横波 transverse wave 媒质中质点振动方向与传播方向相垂直的波。水表面波即为横波。

波长 wave length 在声波传播的途径上，两相邻同相位质点之间的距离称为波长，符号为 λ ，单位是米(m)。

频率 frequency 一个简单声音的主调决定于一秒钟内声压从正到负振荡的次数，这个振荡的物理量称为频率，符号为 f ，单位是周/秒(c/s)，国际上称为赫兹(Hz)。

周期 period 频率的倒数即为周期，符号为 T 。它是指振荡一周所需的时间。如1000 Hz的周期是0.001秒(s)。

质点速度 particle velocity 媒质中某一尺度甚小于波长而甚大于分子的质点因声波通过而引起的相对于整个媒质的振动速度。一般使用时，质点速度是有效质点速度(即方均根值)的简称。

波腹 antinode loop 驻波中某种声场特性的幅值为最大的点、线或面。

波节 node 驻波中某种声场特性基本为零的点、线或面。

驻波 standing wave 由于频率相同的同类自由行波互相干涉而形成的空间分布固定的周期波。驻波的特点是具有固定于空间的节或腹。

平面波 plane wave 波阵面为与传播方向垂直的平行平面的波。

球面波 spherical wave 波阵面为同心球面的波。它是由点声源所发出的。

柱面波 cylindrical wave 波阵面为同轴柱面的波。

弯曲波 bending wave 板或棒(梁)中的纵横波。

波阵面 wave front 空间行波在同一时刻相位相同各点的轨迹曲面。

拍 beat 由不同频率 f_1 和 f_2 的简谐量相加而形成的周期性变化,幅值按拍频 $|f_1 - f_2|$ 周期性地增减。

纯音 pure tone (1) 有单一声调的声音。(2) 瞬时值为一简单正弦式时间函数的声波。

简正振动方式 normal mode of vibration 无阻尼系统的一种自由振动方式。系统的任何复合运动一般可分解为简正方式的和。简正振动方式的频率是简正频率。

固有频率 natural frequency 系统自由振动时的频率。在多自由度系统中,固有频率是简正振动方式的频率。

基频 fundamental frequency (1) 周期性振荡中与其周期相同的正弦式量的频率。(2) 振动系统的最低固有频率。

谐波 harmonic wave 周期性振荡中,频率等于基频整数倍的正弦式量。在音乐声源中,谐波的多少直接影响音质的好坏。

衍射 diffraction 由于媒质(空气)中的障碍物或其它的不连续性而引起的波阵面畸变。

折射 refraction 因媒质中声速的空间变化而引起声传播方向改变的过程。

反射 reflection (1) 声波由两种媒质之间的表面返回的过程,向表面的入射角等于反射角。(2) 声波在前进过程中如遇到尺寸大于波长的界面时,将使声波改变前进方向,其反射角等于入射角,其反射的声能量与反射面的吸声系数有关。

散射 scattering 声波朝许多方向的不规则反射、折射或衍射。

声压 sound pressure (1) 有声波时,媒质中的压力超过静压力的值。一般使用时,声压是有效声压的简称。(2) 当声源发声时,使周围空气的质点产生振动,从而使大气压力产生交变压力,这一交变压力即为声压,符号为 p ,单位是牛顿/米²(N/m²)或帕斯卡(Pa)或微巴(μbar)。

有效声压 effective sound pressure 在一段时间内瞬时声压的均方根值,这段时间应为周期的整数倍,或长到不影响计算结果的程度。

瞬时声压 instantaneous sound pressure 在某点的瞬时声压等于在该点的瞬时总压力减去静压力。

均方根 root mean square (RMS) 一组瞬时值的平方的算术平均的平方根即称为均方根。

声源强度 strength of a sound source 简单声源发出正弦式波时的最大体积速度。(简单声源是指尺度甚小于波长的声源。)

声强 sound intensity, sound energy flux density 声强是衡量声波在传播过程中声音强弱的物理量。声场中某一点的声强,即在单位时间内,在垂直于声波传播方向的单位面积上所通过的声能,符号为 I ,单位是瓦/米²(W/m²)。

声功率 sound power 声源辐射声波时对外做功,声功率是指声源在单位时间内向外辐射的声能,符号为 W ,单位为瓦(W)。声源声功率或指在全部可听频率范围所辐射的功率,或指在某个有限频率范围所辐射的功率(通常称为频带声功率)。

级 level 在声学中一个量与同类基准量之比的对数。对数的底、基准量和级的类别应加注明。级的类别用名称表示,如声压级、声功率级、声强级等。

分贝 decibel, dB 声学计量中一种级的单位, 是贝尔的十分之一。

声压级 sound pressure level 声压 (p) 与基准声压 (p_0) 之比, 取 10 为底的对数乘以 20 即为声压级, 符号为 L_p , 单位是 dB, 即

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

基准声压 $p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 。

声功率级 sound power level 声功率 (W) 与基准声功率 (W_0) 之比, 取 10 为底的对数乘以 10 即为声功率级, 符号为 L_w , 单位是 dB, 即

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0}$$

基准声功率 $W_0 = 10^{-12} \text{W}$ 。

声强级 sound intensity level 声强的上下限可相差一万亿倍, 用其度量声音的强弱很不方便, 同时人耳对声音强弱的分辨能力也不与声强成正比, 而是近似地与声强的对数值成正比。通常声强级 L_I 用下式表示:

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \text{ dB}$$

基准声强 $I_0 = 10^{-12} \text{W/m}^2$ 。

频带声压级 band pressure level 声音在某一频带中的声压级, 频带的宽度和基准声压必须指明。

声级、噪声级 sound level, noise level 用一定仪表特性和 A、B、C 计权特性测得的计权声压级。所有计权声级必须说明, 否则即指 A 声级。A、B、C 计权特性分别是 40、70、100 方等响曲线的反曲线, 计权特性用读数后的字样表示, 如 dB(A) 等。计权的目的是为了测量的声级大小能符合人耳的听觉特性。

快速傅里叶变换 fast Fourier transform (FFT) 在从大型时间序列中求一组傅里叶系数 (分量幅值) 时, 任何一种比传统逐个计算的方法大为减少计算工作量的速算步骤。

阻抗 impedance 一个拟力的量 (力、压力、力矩、电压、温度或电场强度) 和它所产生的拟速度的量 (速度、体积速度、角速度、电流、热流或磁场强度) 的复数比值。阻抗的倒数是导纳。

声阻抗 acoustic impedance 媒质在一定波阵面的面积上的声压与通过这个面积的体积速度的复数比值。

声阻抗率 specific acoustic impedance 媒质里某一点的声压与质点速度的复数比值。声阻抗率的实数部分是声阻率, 虚数部分是声抗率。

特性阻抗 specific impedance 平面自由行波在媒质中某一点的有效声压与通过该点的有效质点速度的比质。特性阻抗等于媒质的密度与声速的乘积。

可听声 audible sound (1) 引起听觉的声波。(2) 声波引起的听觉。正常人可听声的频率范围为 20 Hz~20 kHz。

复音 complex tone (1) 具有一个以上音调的声觉。(2) 由一些频率不同的简单正弦式成分合成的声波。

分音 separate tone (1) 复音中可以用耳分清为一简单声音而不能再分的成分。

(2) 复音中的一个物理成分。分音的频率可以比基频高,也可以比基频低;可以是基频的整数倍或分数,也可以不是。分音不是基频的整数倍或分数时,称为非谐频分音。

泛音 overtone 复音中高于基频的其它各次频率称为泛频。当泛频为基频整数倍时,则称为谐频,这时称基频为第一谐频,第一泛频则称为第二谐频,余类推。

音程 interval 两个声音的音调或频率(依使用的情况而定)的距离,用频率比或它的对数表示。当形成音程的音连续奏出时,称为旋律;当同时奏出时,称为和声。

音调 pitch, tone 听觉区别声音高低的属性,根据它可以把声音排列成由低到高的序列,如音阶。音调的高低主要取决于声音的频率,频率越高,音调也越高。但音调也与声压和波形有关。音调的单位是美(mel),其定义为:当频率为1000Hz,声压级为听者听阈以上40dB的一个纯音,产生的音调是1000美。

音色(音色) timbre 听觉区别具有同样响度和音调的两个声音所以不同的属性。例如钢琴与小提琴可以具有同样的响度和音调,但由于具有不同的高泛音(即高次谐波),所以具有不同的音色。

响度 loudness 听觉判断声音强弱的属性,根据它可以把声音排成由轻到响的序列。响度主要依赖于引起听觉的声压,但也与声音的频率和波形有关。响度的单位是宋。

宋 sone 响度的单位。频率为1000Hz、声压级为听者听阈以上40dB的一个纯音所产生的响度是1宋。任何一个声音的响度如果被听者判断为1宋响度的几倍,这个声音的响度就是几宋。

响度级 loudness level 表示声音强弱的主观量。声音的响度级等于等响的1000Hz纯音的声压级,单位是方(phon)。响度级为40方时,响度为1宋。响度级每增加10方,响度增加1倍,即40方为1宋,50方为2宋,60方为4宋,70方为8宋,...

等响曲线 equal-loudness contour 表示响度级与声压级和频率的关系的曲线,它反映人耳对各频率的灵敏度。

第二节 室内声学

声线 sound ray 自声源发出,代表能量传播方向的曲线,声的波动性质不计。声线的方向与波阵面垂直。利用声线可以检查厅堂中的声场分布是否均匀,以及是否存在声缺陷等。

几何声学 geometrical acoustics 用声线的观点研究声波在封闭空间中传播的科学。声线,表示前进的方向,当遇到尺寸超过波长较多的界面时将会反射,其反射角等于入射角。

物理声学 physical acoustics 用波动的观点研究声学问题的科学。

直达声 direct sound 自声源未经反射直接传到接受点的声音。它按与距离的平方成反比的规律衰减。

声场 sound field 媒质中有声波存在的区域,或是有声波存在的空间。

自由场 free field (1) 均匀而各向同性的媒质中,边界影响可以不计时的声场。(2) 只有直达声而没有反射声或反射声可以忽略的声场。在自由场中声强的变化与距离的平方成反比。

扩散场 diffuse field 能量密度均匀、在各个传播方向作无规分布的声场。在此声场中任何一点所接收到的各个方向的声能将是相等的。

半消声场 semianechoic field 有一个反射面的自由场，亦称半自由场。

近场 near field 此声场通常在距声源两个波长的范围内。在近场内声压级与距离没有简单的关系。

远场 far field 噪声源辐射场的一部分。当声源为点声源时，在此部分内从声源的距离每增加一倍，声压级衰减 6 dB。

扩散场距离 diffuse field distance 在有混响的房间内，各方向平均的均方直达声声压与均方混响声压相等的点到声源的声中心的距离。扩散场距离亦称混响半径。

干涉 wave interference 频率相同或相近的以及相位差固定的声波相加时所形成的现象。特点是其幅值与原有的声波相比，具有不同的空间和时间分布。

平均自由程 mean free path 室内声音在两次反射间经过距离的平均值。

声能比 acoustic ratio 在室内某点的混响声强与直达声强之比，表示该点声场漫射的程度。

声能密度 sound energy density 在某点一尺度甚小于波长而甚大于分子尺度的小体积中的声能用这个体积来除所得的商。

声能通量 sound energy flux 单位时间内通过某一面积的声能。

房间常数 room constant 房间内总吸声量以 1 减去平均吸声系数来除，所得的商，符号为 R 。通常以它表征一个房间的活跃程度或沉寂程度，房间常数越大房间越沉寂。

脉冲声 impulsive sound 短促的声音，由正弦波的短波列或爆炸声形成。在厅堂音质设计中，50 毫秒内到达的脉冲声多少是评价音质的标志之一。

听阈 threshold of audibility 某信号能在多次试验的一定百分数中引起听觉的最低声压。信号的特性、它传给听者的方式以及测量声压的地点都必须说明。

反射脉冲谱 echogram 脉冲响应图中各反射脉冲声的时间序列及相对强度组成的谱。

第三节 吸 声

吸收 absorption (1) 当声波通过媒质，或射到媒质表面上时，声能减少的过程。(2) 当声波经过一种介质时，将声能转换为其它能量的一种现象。

吸声系数 sound absorption coefficient 入射声能被材料表面或媒质吸收的百分数。

声反射系数 acoustical reflectivity 自界面反射到入射方面的声能强度与入射声能强度之比。

吸声材料 sound absorption material (1) 相对地具有较大吸声能力的材料，通常平均吸声系数超过 0.2 以上的材料称为吸声材料。(2) 由于材料的多孔性、薄膜作用或共振作用，而对入射声能具有吸收作用的材料。

等效吸声面积、吸声量 equivalent absorption area 一个表面的等效吸声面积等于它的面积乘以吸声系数，单位为平方米 (m^2)，过去用赛宾作单位，现建议取消。

房间吸声量 room absorption 房间内各个表面和物体的总吸收量加上房间内媒质中

的损耗。后者等于 $4mV$ ， m 是空气中的声衰减系数， V 是房间体积。

降噪系数 noise reduction coefficient (NRC) 表示材料吸声特性的单一值，它是 250、500、1000、2000Hz 的吸声系数的算术平均值，以 0.05 为最小倍数。而材料的平均吸声系数则是 125、250、500、1000、2000、4000 Hz 的算术平均值。

多孔吸声材料 porous absorbing material 内部有很多与大气相通的微孔和通道，对气体或液体流过时给予阻尼的材料。由于空气在材料微孔中的粘滞、热传导与驰豫现象，使声能转换为热能。建筑上常用的多孔吸声材料有玻璃棉、矿棉、岩棉和泡沫塑料等。

微穿孔板吸声结构 microperforate absorber 装置在刚性墙前一定距离处的穿孔板可以看作无限多个共振器系统。如将穿孔板的孔径缩小到丝米级，就可以获得需要的流阻，不需另加多孔材料就可构成微穿孔板吸声结构。它的优点是结构简单，吸声特性可以预计。微穿孔板大多数为金属薄板制成，因此不怕气流、水、温度、湿度等的浸蚀，适用于特殊环境。

空间吸声体 functional absorber 悬挂在室内空间专为吸声目的而制成的物体，它的吸声系数往往大于 1。

电子吸声器 electronic absorber 利用电子线路供给反相声音因而降低局部噪声的设备，也称为有源吸声器。

孔隙率 porosity 多孔吸声材料内部空气体积与材料所占的总体积之比。

流阻 flow resistance 在稳定气流状态下，材料内部压力梯度和气流速度之比。

有效流阻 effective flow resistance 吸声材料的有效流阻是在实际声场中的流阻。有效流阻也称动态流阻。

结构因数 structure factor 表示多孔材料内部微观结构（如孔隙形状、孔隙方向分布等）对声学特性影响的一个无量纲量。一般多孔材料的结构因数在 2~10 之间，也有高达 20~25 的。

第四节 音质

音质 acoustics 房间中传声的质量。房间音质的决定因素是混响时间、传输频率特性、声场分布和噪声级等。音质的最终评价在语言的情况主要是语言清晰度，在音乐的情况则靠音乐的欣赏价值来决定。

音质设计 acoustical design 在建筑设计中从音质上保证建筑适合使用要求所采取的步骤。音质设计包括厅堂体型、每座容积和混响时间的确定，以及吸声材料的选择和布置等。同时还应避免回声、声聚焦以及过高的背景噪声等。

室内声学 room acoustics 研究室内音质问题的科学。

音质评价标准 acoustics criteria 判断音质的依据，通常分为主观评价标准与技术评价标准两方面。

混响 reverberation (1) 声源停止发声后，声音由于房间中界面的多次反射或散射而逐渐衰减的现象。(2) 声源停止发声后，由于多次反射或散射而逐渐衰减的声音。

混响声 reverberation sound 房间内在稳态时所有的一次和多次反射声相加的结果。在建筑声学中通常将直达声后 50 毫秒以外的多次反射声称为混响声。混响声的长短与强度将影响厅堂的声学质量，如清晰度与丰满度等。

混响时间 reverberation time 在室内声音已达到稳定状态后声源停止发声，平均声能密度自原始值衰变到其百万分之一所需要的时间；即声源停止发声后衰减 60 dB 所需要的时间。混响时间是目前音质设计中能定量估算的重要评价指标，它直接影响厅堂音质的效果。

每座容积 volume per seat 厅堂总体积被座位数除所得的商，亦即每个人所占的平均容积。它是达到最佳混响时间的重要指标之一。不同用途的厅堂要求有不同的每座容积。

清晰度、可懂度 definition (articulation), intelligibility 一个或几个发言人所说，经过通讯系统而能被一个或几个听者听清楚的语言单位百分数。习惯上当语言单位间的上下文关系对决定听者的确认不占重要地位时，就用“清晰度”这个词。相反，当上下文关系占重要地位时，就用“可懂度”这个词。室内清晰度指脉冲响应中有益声能（对清晰度有帮助的声能，取直达声能和50毫秒以内的反射声能）占全部声能的比例。

丰满度 fullness 表示声音在室内发声和在露天发声时相比，在音质上提高的程度。

回声 echo 强度和时差都大到足以在听觉上和直达声区别开的反射声或由于其它原因返回的声。

多重回声 multiple echo 从单一声源产生的一串可分辨的回声。室内两个界面之间距离大于一定数值时，当在中间之声源发声时，即将产生多重回声。

颤动回声 flutter echo 当声源在两个平行界面或一平面与一凹面之间发生反射，界面之间距离大于一定数值时，所形成的一系列回声。

声聚焦 sound focus 凹曲面对声波形成集中反射的现象，它使声能集中于某一点或某一区域致使声音过响，而其它区域则声音过低，是音质设计中的缺陷之一。

染色 coloration 由于室内频率响应的变化，使原始声音信号被赋予外加的音色特点（使原信号频谱有了某种改变）。

陡度 steepness 声音增长曲线上稳态声级以下 5 dB 处的切线斜率称为陡度，用以表示增长率。

初始时间间隙 initial-time-delay gap 到达听者的第一个反射声与直达声之间的时差，它对室内的亲切感起主要作用。

空间响应性 spatial responsiveness (SR) 听者所在的空间对声源的响应性，它使听者感到声音充满空间，自己被声音环绕，是音乐厅音质评价标准之一。

脉冲响应 impulse response 接收点接收到脉冲声信号的情况。一般为一个直达脉冲声加上若干按到达时间序列排列的不同强度的反射脉冲声。50 毫秒以内反射声为近次反射声，对直达声起加强作用。50 毫秒以后到达的反射声称为混响声。

增长时间 rise time 声源发出持续声后，声场的声能密度逐渐增长，直到达到稳态。取从声源发声开始至达到稳态声级以下 3dB 时的这段时间为增长时间，用以表示增长过程的快慢。

早期衰减时间 early decay time 取稳态声衰减最初 10dB 计算衰减 60dB 的时间。

掩蔽 masking 一个声音的听阈因另一个掩蔽声音的存在而上升的现象。通常是低频率的声音容易掩蔽较高频率的声音。目前有些办公室或车间利用这种声音掩蔽的特性，来降低噪声的干扰或是起语言上的保密作用。

哈斯效应 Hass effect 如有两个不同声源发出同样的声音，在同一时间以同样强度到

达听众时,则声音呈现的方向大约在两个声源之间。如果其中一个略微延时约5~35毫秒,则听起来所有的声音似乎都是来自未延时的声源,被延时的声源是否在工作就不明显。如果延时在35~50毫秒之间,则延时声源可以被识别出来,但其方向仍在未经延时的声源方向。只有延时超过50毫秒时,第二声源才被听到,像一清晰的回声。这种现象称为哈斯效应。

沉寂室 dead room 布置大量强吸收的吸声材料的房间,其反射声能极小,接近露天情况。亦即混响时间极短的房间。

活跃室 live room 具有少量吸声量的房间,也就是混响时间较长的房间。通常用房间常数 R 的大小表示房间的活跃程度。

扩声系统 amplifying system 在大厅内或广场上把较弱的声源所发出的声音接收、放大,通过扬声器系统分布到全体听众的全部设备。

声反馈 acoustical feedback 由于扩声系统扬声器输出的能量一部分反馈到传声器而引起的啸叫声或衰变声。

声耦合 acoustic coupling 两室间的声耦合是两室声学上相通可以交换声能的情况。

第五节 隔声

空气声 air-borne sound 声源经过空气向四周传播的噪声。

固体声 solid-borne sound 建筑物中声源经过固体(建筑结构)向四周传播的由机械振动引起的噪声。

撞击声 impact sound 当两种物质互相撞击时所产生的噪声。脚步声是最常听到的撞击声。

透射系数 sound transmission coefficient 经过墙或间壁的透射声能与入射声能之比,符号为 τ , $\tau = E_t/E_i$,式中 E_t 为透射声能, E_i 为入射声能。透射系数是声音入射角的函数。

传声损失 transmission loss 在一传声系统中,声自一点传到另一点时声压级的降低。

隔声量 noise insulation factor 墙或其它构件一侧的入射声能与另一侧的透射声能相差的分贝数,符号为 R , $R = 10 \lg 1/\tau$,式中 τ 为透射系数。

隔声指数 sound insulation index 从100~3150Hz的频带隔声量测定值中推导出的单一值。国际标准化组织(ISO)规定隔声指数 I_s 为空气声隔声量单一值,它提供了构件的隔声评价量,并且便于构件之间的互相比,简称隔声指数。

质量定律 mass law 决定墙或间壁隔声量的基本定律,可表述如下:墙或间壁的隔声量与它的面密度成正比。在一般情况下,面密度增加一倍,隔声量增加6dB。

吻合效应 coincidence effect 墙壁的受迫弯曲波速度与自由弯曲波速度相吻合时的效应。此时,墙就失去了传声的阻力。吻合效应与一般理解的共振效应有本质的差别。

临界吻合频率 critical coincidence frequency 满足吻合效应的最低频率称为临界吻合频率。构件的临界吻合频率越低,对其隔声越不利。因此,在设计中应争取提高构件的临界吻合频率。

侧向传声 flanking transmission 空气声自声源室不经过共同墙壁而传到接收室的

情况。

透射等级 sound transmission class 从构件隔声量测定值中推导出的单一值。它提供了构件隔声特性，便于互相比较，简称“STC”。它是美国材料试验标准（ASTM）中隔声量的表示值，与国际标准化组织 ISO 717 中的 I_a 相似，但频率是从 125~4000Hz。

标准化声级差 normalized standard sound pressure level difference 相应于接收室内某一混响时间基准值（0.5 秒）的声压级差。

声桥 sound bridge 在双层或多层隔声结构中两层间的刚性连接物，声能以振动的形式通过它在两层间传播。因此，结构中存在声桥时将降低其隔声能力。

声锁 sound lock 具有大量吸收的小室或走廊，其用途是使室的两边可以相通但声耦合很小，从而提高两个分隔室间的隔声能力。

声影区 sound shadow region (1) 由于障碍物或折射原因，声线不能到达的区域。(2) 在声传播途径中遇到一定尺寸的屏障或建筑物时，将在屏障或建筑物的另一面产生一声能显著减弱的区域，从而达到降低噪声的目的。

浮筑楼板 floating floor 将楼板面层与结构层和四周墙壁之间铺设弹性垫层，如软木、橡胶或玻璃棉毡等，以隔绝撞击声的楼板构造。

第六节 噪声控制

噪声 noise (1) 紊乱、断续或统计上随机的声振荡。(2) 不需要的声音。

背景噪声 background noise (1) 在发生、检查、测量或记录信号的系统中，与信号存在与否无关的一切噪声干扰。(2) 当噪声测量中被测声源未发声时，其它一切噪声的总和。当背景噪声高于被测声源声级时，则不能测量，应设法降低背景噪声的干扰。

环境噪声 ambient noise, environmental noise (1) 在某一环境下总的噪声；常是由多个不同位置的声源产生的。(2) 在某一环境中将需要听闻的声源除外的其它噪声源产生的噪声级总和。

噪声控制 noise control 研究获得适于人们工作、学习与生活而需要的安静环境的科学技术。它包括城市环境噪声、交通噪声、工厂噪声与建筑中各种设备噪声的控制。

噪声降低 noise reduction 采取任何措施（如吸声、隔声、消声等）降低噪声的过程。降低噪声的程度用分贝表示。

噪声控制标准 criteria for noise control 在不同的建筑类型与环境内容许的最高噪声级标准。噪声评价常用的声级有：平均声级、A 声级、等效声级、暴露声级等。

室内外声级降低值 outdoor-indoor sound level reduction 在建筑立面或屋顶外 2 米或更远距离处的平均声级与设计房间内时空平均声级之间的差值，单位是分贝。

等效连续 A 声级 equivalent continuous A-weighted sound level 在一定时间内其噪声暴露指数与同时间内实际存在的各声级所产生的噪声暴露指数之和相等的连续噪声声级，以 dB(A) 计。

累计分布声级 accumulate distribution level 在一段时间内超过 $N\%$ 的 A 声级。例如 L_{90} 即为 90% 超过的 A 声级。通常用它估算环境噪声级，符号为 L_N 。

有效感觉噪声级 effective perceived noise level 用于综合评价低空飞行时的航空

噪声。它包括纯音与持续噪声的修正。符号为 L_{EPN} 。

噪声污染级 noise pollution level 用于短时期内噪声级的变化量,符号为 L_{NP} ,其定义为:

$$L_{NP} = L_{eq} + (L_{10} - L_{90}) \text{ dB}$$

再生噪声 regenerated noise 由于气流在管道或消声器中流动,产生摩擦而发生的噪声。气流噪声的大小与气流速度、摩擦阻力等有关。

自然衰减 natural attenuation 在整个通风系统中未插入消声器前,系统对风机噪声的衰减。在设计消声器时消声器需要的消声量应减去这一自然衰减。

消声器 muffler, silencer 具有吸声衬里或特殊形状的气流管道,可有效地降低气流中的噪声。消声器基本上是一种声滤波器,特性是频率的函数。

听力损失 hearing loss 人耳在某一频率的听阈,由于疾病、损伤、年龄或在强噪声暴露下等原因,而较正常人的听阈提高的分贝数。

听觉疲劳 auditory fatigue 因声音过度刺激而使听力暂时减退的现象。听力减退可反映为听阈的提高、同一声音响度的降低或双耳定位的位置改变。

受迫振动 forced vibration 由外加激励强迫的振动。外加激励如为周期性的和连续性的,受迫振动就是稳态振动。

无规振动 random vibration 在指定的时间内无法精确地预测其幅值的振动。

共振 resonance (1) 系统在受迫振动中,激励的任何微小频率变化都使响应减小的现象。(2) 当外界干扰频率与某物体的固有频率吻合时,该物体将产生强烈振动的现象。

振动阻尼 vibration damping 利用阻尼材料附在物体上使其振幅减小的措施。例如在钢板隔声罩上涂以沥青,即可减少钢板的声辐射,从而提高隔声罩的隔声能力。

隔振 vibration isolation 利用弹性材料或阻尼材料减少设备振动传播的措施。即利用弹性支撑使一振动系统降低其对外干扰的能力,在稳定状态下,隔振能力用传递比的倒数表示。

积极隔振 positive vibration isolation 对产生振动系统的振动源进行隔振处理以减少它对外界的影响。

消极隔振 negative vibration isolation 当仪器或设备受到外界振动干扰时,用隔振方法对其基础采取措施以减少振动的干扰。

隔振器 vibration isolator (1) 使仪器、设备与稳态激励隔离的弹性支撑。(2) 将声源隔离以避免它对整个建筑物干扰的弹性支撑。

插入损失 insertion loss 房间或设备采取减噪措施前后同一点声压级的变化。

阻尼 damping (1) 能量随时间或距离而损耗的现象。(2) 使振动物体的振动力减弱的一种措施。

阻尼比 damping ratio 具有粘性阻尼的机械系统中,系统实有阻尼与临界阻尼之比。

临界阻尼 critical damping 使一被振的系统回复到原有位置而无振荡的最小阻尼。

传递比 transmissibility 振动系统在稳态受迫振动中,响应幅值与激励幅值的无量纲比值。传递比可以是力、位移、速度或加速度的比。

振动速度级 vibration velocity level 已知振动速度与参考速度的比值取其以 10 为底的对数乘以 20, 用分贝表示。

振动加速度级 vibration acceleration level 已知振动加速度与参考加速度的比值取其以 10 为底的对数乘以 20, 用分贝表示。

振动加速度 vibration acceleration 在指定的方向上, 振动方向的变化与速度变化的比值。此时应注明频带宽度。

第七节 测量仪器与方法

声学测量 acoustical measurement 研究声学量的测量技术的科学。在建筑声学测量中, 包括混响时间、声场分布、脉冲测量、材料吸声系数、构件隔声量和噪声分析等方面的测量。

啜音 warble tone 频率作正弦式调制的纯音。常用在混响时间测量中。作为测试信号, 它可以减少驻波的干扰。

无规噪声 random noise 瞬时值不能预先确定的声振荡。无规噪声的瞬时值对时间的分布只服从一定统计分布规律。无规噪声不一定是白噪声。

白噪声 white noise 用固定频带宽度测量时, 频谱连续并且均匀的噪声。但由 1/3 倍频程或倍频程滤波器测量时, 则低频范围能量低, 而高频部分能量高。

粉红噪声 pink noise 用正比于频率的频带宽度测量时, 频谱连续并且均匀的噪声。粉红噪声是建筑声学中常用的测试信号源。

响应 response 某设备或系统在指定条件下由一激励引起的运动 (或其它输出)。如传声器的声压灵敏度频率响应, 系指声源输出的声级在各个频率都不变的情况下, 传声器输出频率不同时声级的变化。这个变化曲线越平直, 说明传声器的频响越好。

动态范围 dynamic range 声接收用的电声换能器的过载声压级与本底噪声的等效声压级之差。仪器本身的本底噪声与过载的声级差亦称动态范围。

信噪级 signal-to-noise level 信号级减去噪声级, 通常以分贝表示。

指向性因数 directivity factor 声源在它主轴上远处一点上某频率的声压平方, 与通过这个点和声源同心球面上同一频率的声压平方的平均值的比值。

指向性图案 directivity pattern 用图线描述的、在通过声中心的指定平面内和频率固定时, 换能器响应作为发射或入射声级方向的函数。如传声器就有心形、圆形、8 字形的指向性图案。

传声器 microphone 将声信号转换为相应电信号的电声换能器。

电容传声器 condenser microphone 靠声压使静电电容产生变化而起换能作用的传声器。它的频响较好, 受外界温、湿度影响小, 是建筑声学中必要的测试传声器。

指向传声器 directional microphone 响应随入射声波方向变化的传声器。

线列传声器 line microphone 由换能元件排成直线阵或在声学上等效结构的指向传声器。

频程 interval 两个声音的音调或频率的距离。频程用频率比或其对数表示。

倍频程 octave 两个声音之间的频率间隔, 它们的基频比例为 2, 即 $f_1/f_2 = 2$ 。

倍频带谱 octave-band spectrum 具有一个倍频带宽的频谱。通常在较简易的测量中采用这种频谱表示声源的特性。较详细的测量则应用 1/3 倍频带宽的频谱。

频谱 frequency spectrum 在建筑声学测试中要了解声源的特性时,除了要知道声源在某一点的声压级外,还需要知道一定频带范围(63~8000Hz 或 125~4000Hz)的各个频带的声压级,这种由各个频带范围(横坐标)与其相应的频带声压级(纵坐标)所组成的图形,称为声源的频谱。

线谱 line spectrum 由一些离散频率成分形成的谱。各种乐器的频谱即为线状谱。

连续谱 continuous spectrum 在一定频率范围内含有连续频率成分的谱。各种噪声源产生的噪声都是连续谱。

滤波器 filter 把信号中各分量按频率加以分离的设备。滤波器能使一个或几个频带中的信号分量通过时基本上不衰减,对其它频带的分量则加以衰减。

计权网络 weighted network 在声级计中用一定的仪表特性对通频带的声压级进行计权的网络。所用计权特性必须说明,否则即指 A 声级。A、B、C 的计权特性分别近似于 40、70、100 方等响曲线的倒置曲线。

标准声源 reference sound source 它有一恒定的宽频带声功率输出,不受周围环境的影响。可用作测定房间的混响时间、声场分布。但主要是用比较法测定未知声源的声功率。

活塞发声器 pistonphone 一个小腔,其中具有振动频率和幅值已知的往复活塞,在腔中可产生一稳定的已知声压,是校准电容传声器的灵敏度的测试设备。它在 125Hz 时能产生 124dB 的声压级,其精度为 ± 0.2 dB。

标准打击器 standard tapping machine 测试楼板撞击声隔声指数的专用设备。目前亦可使其撞击一附有钢板的木箱,作为标准声源用。其规格如下:5 个打击锤在一直线上排列,两端两锤的距离约为 40 厘米,每秒产生 10 次撞击(准确度在 $\pm 5\%$ 以内),每锤应有 4 厘米无摩擦的落距,要在接触地面后 0.05 秒即刻提起,每次仅一个锤接触地面,每个锤的质量为 500 克(准确度在 $\pm 2.5\%$ 以内),锤头应为钢或黄铜制成的圆柱体,直径为 3 厘米,以曲率半径 50 厘米的球面作为与地面的接触面。

拾振器 vibration pickup 接收振动而得到与振动的位移、速度或加速度相应的电输出的换能器。

声级计 sound level meter 预加校准的、包括传声器、放大器、衰减器、适当计权网络和具有规定动态特性的指示仪表的仪器,用以测量噪声的声级。

声分析仪 sound analyzer 包括滤波器系统和用以读出通过滤波器系统的相对信号能量的指示仪表的设备,用以求得所加信号的能量对频率的分布。分析速度较一般大为加快的系统称为实时分析仪。

声级记录仪 level recorder 自动记录声级变化的仪器。它以频谱仪联用时可以记录混响时间、噪声声级与声源的频谱分析。

扬声器 loudspeaker 把电能转化为声能,并在空气中辐射到远处的电声换能器。

听力计室 audiometric room 为测量人耳听力用的小室,它内部布置吸声材料,并能隔绝外部的噪声,以达到测试要求的背景噪声水平。

混响室 reverberation chamber 混响时间足够长（即需要一定的房间体积与表面吸声系数最小），并且设计得使声场尽量扩散的房间。

消声室 anechoic room 边界有效地吸收所有入射声音，使其中部基本上自由声场的房间。如地面为反射面，模拟半自由空间，则称为半消声室。

人工混响 artificial reverberation （1）室内或其它封闭空间内声音逐渐消失的现象的模拟。（2）用人工的方法模拟室内声音逐渐消失的现象。通常采用混响室的方法或是人工混响器的方法，它只适用于有电声系统的厅堂。

立体声系统 stereophonic system 由若干个传声器、传输通路和扬声器组成的系统经过适当的安排，能使听者有声源在空间分布的感觉。

扬声器系统 loudspeaker system 由一个或几个扬声器和相应的附件如障板、扬声器箱和分频网络等组成的，作为驱动电路和周围空间耦合的设备。设置扬声器系统的目的是获得足够的响度、所需的频率特性和声场分布以及特殊的声效果等。

第二章 听觉与计量

车世光 吴硕贤 秦佑国

第一节 听觉机构

在噪声控制和室内声学中，人耳是声波的最终接受者。人耳可分成三个主要部分：外耳、中耳和内耳。声波通过人耳转化成听觉神经纤维中的神经脉冲信号，传到入脑中的听觉中枢，引起听觉。图 2-1 是人耳剖面 and 功能的示意图。

一、外耳

外耳由耳壳和耳道构成，到耳鼓为止。耳壳的作用是使耳道和空气之间阻抗匹配，从而让更多的声能进入耳道。这种匹配作用在 800Hz 左右最好，在高频也有效，但在低于 400Hz 时匹配作用就较差了。耳道大约 27mm 长，直径 5~7mm，共振频率约为 3000Hz。声波通过耳道作用于耳鼓，耳鼓在声波激发下振动。

二、中耳

耳鼓的振动推动中耳室内的三块互相连接的小骨头——听骨运动。这三块小骨头分别叫锤骨、砧骨和镫骨，它们起杠杆放大作用。中耳室内充满了空气，其体积约 2cm^3 。中耳室通过欧氏管和鼻腔相连，平时欧氏管封闭，当它打开时，可以形成一个沟通耳腔和口鼻腔的大气通道，用以渲泄耳腔内压强的剧增。中耳室内侧壁上有内耳的两个开口：卵形窗和圆形窗。圆形窗有膜封闭，卵形窗被镫骨的底板和连系韧带封闭。两个窗口内侧就是充满液体的内耳耳蜗。中耳的作用是通过听骨的运动把外耳的空气振动和内耳中的液体运动有效地耦合起来。

三、内耳

内耳的主要部分是耳蜗。耳蜗的外形有点象蜗牛壳，它围绕着一骨质中轴盘旋了 $2\frac{3}{4}$ 转，

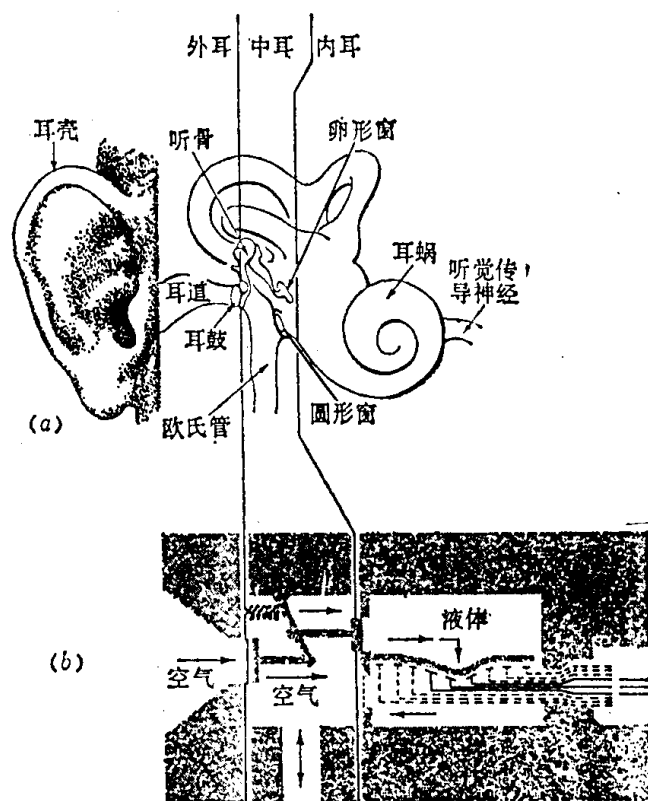


图 2-1 人耳剖面和功能示意图

展开长度约 35mm。中轴是中空的，是神经纤维的通道。耳蜗中间有骨质层和基底膜把它隔成两半：前庭阶和耳鼓阶。图 2-2 是耳蜗剖面图；图 2-3 (a) 是耳蜗展开示意图。

前庭阶和耳鼓阶内充满淋巴液，听骨的振动通过卵形窗使淋巴液运动，引起基底膜振动。沿着基底膜附着有柯氏螺旋器官，上面有大量的神经末梢元——毛细胞，它们在液体运动作用下发生变形，形成神经脉冲信号，通过听觉传导神经传至大脑听觉中枢。在强声压级作用下，毛细胞会因为拉伸应力而疲劳以至损坏，这种损坏是不能恢复的。

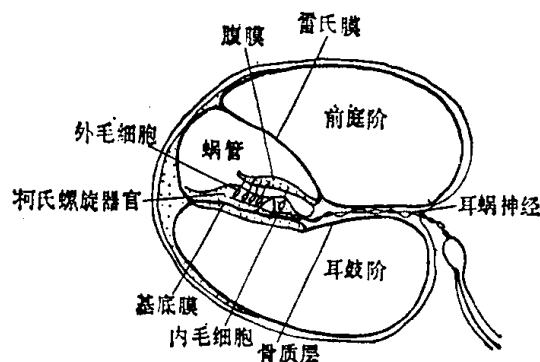


图2-2 耳蜗剖面图

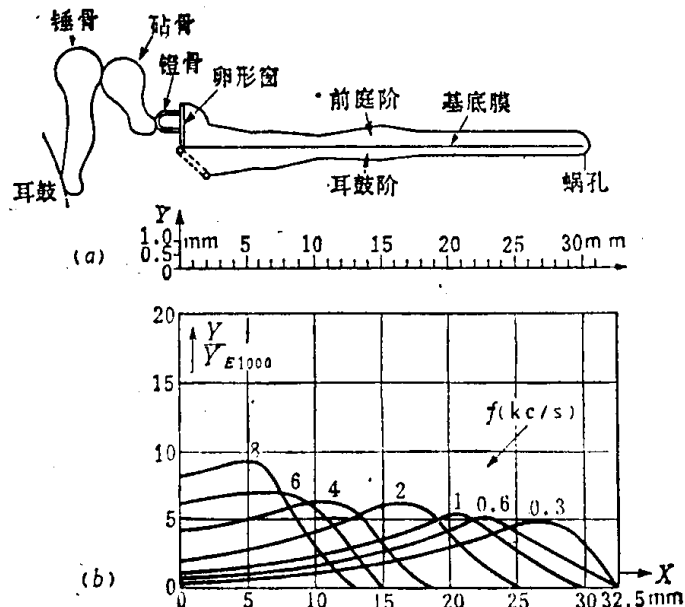


图 2-3

(a) 耳蜗展开示意图 (b) 基底膜振动幅值图

不同频率的声波引起基底膜振动的最大振幅位置离卵形窗的距离是不同的，频率越低，距离越远，见图 2-3 (b)。这表示了人耳构造的机械运动对频率的一种分析作用，但这只是初步分析，更为复杂和精细的分析可能是在神经系统中完成的。

四、骨传导

声音除了从外耳和中耳这一途径传至内耳外，还可以通过颅骨的振动使内耳液体运动，这一传导途径是骨传导。颅骨的振动可以由振动源直接引起，也可以由极强声压级的声波引起，此外也可由身体组织和骨骼结构把身体其他部分受到的振动传至颅骨。通常空气中声波的声压级超过空气传导途径的听阈 60dB 以上时，就能由骨传导途径听到。所以，骨传导的存在有时就会使外耳防护器的防噪作用受到限制。

第二节 听觉和听力损失

一、最高和最低可听频率极限

对于可听频率的上限，不同的人有相当大的变化，而且和声音的声压级也有关系。一般青年人可以听到约 20000Hz (当声音相当强时)；中年人只能听到 12000~16000Hz。最低可听频率下限，通常认为是 20Hz。人对低于 20Hz 的声波感觉主要是身体的振动而不是听觉。

二、最小和最大可听声压极限

人耳可以接收的声音的压强变化范围是极大的。人耳的最小可听极限的测试值与测试方式有关。在噪声控制和建筑声学领域内通常用自由场最小可听阈 (minimum audible field -MAF) 表示,即在自由场中,以纯音作信号,听者面对声源,双耳听闻,声压值在听者进入前在听者头部中心位置处测定。不同频率的 MAF 阈值构成一条可听阈曲线。一般正常年轻人在中频附近的最小可听极限大致相当于参考压强为 $20\mu\text{Pa}$ 的 0dB 。一个人最小可听极限即听阈的提高,表示其听觉灵敏度的降低。

人耳的最大可听极限是不能通过破坏性试验来测定的,但通过对因极强声压级事故致聋人员的调查,可以作出统计判断。在强声级作用下,人耳会有不舒服以至疼痛的感觉。各人能容忍的声压级上限与其噪声暴露的经历有关,未经历过强噪声的人,极限约为 125dB ;有经常处于强噪声环境中经历的人,可达 $135\sim 140\text{dB}$ 。通常,声压级在 120dB 左右,人就会感到不舒服; 130dB 左右耳内会有痒的感觉;达到 140dB ,耳内会感觉疼痛;当声压级继续升高,会造成耳内出血甚至听觉机构损坏。以上所述均指总声级而言,与频率无关。图 2-4 给出了自由场最小可听阈、烦恼阈和痛阈的一组测试结果,其中自由场最小可听阈的测试对象是具有正常听觉的 $18\sim 25$ 岁的年轻人。

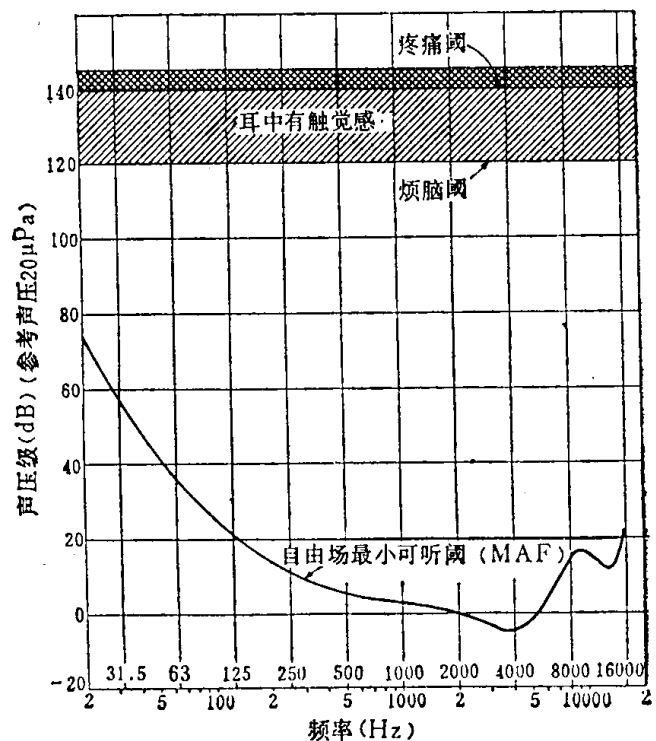


图2-4 人耳的听觉范围

三、最小可辨阈(差阈)

对于频率在 $50\sim 10000\text{Hz}$ 之间的任何纯音,在声压级超过可听阈 50dB 时,人耳大致可鉴别 1dB 的声压级变化。在理想的实验室条件下,声音由耳机供给时,在中频范围,人耳可觉察到 0.3dB 的声压级变化。测量方法不同,结果出入很大。表 2-1 给出了一组试验结果。在中频,强度可辨别的纯音大约为 325 个。

当频率约为 1000Hz 而声压级超过 40dB 时,人耳能觉察到的频率变化范围约为 0.3% 。声压级相同,但频率低于 1000Hz 时,人耳约能觉察 3Hz 的变化。表 2-2 是从三个有经验的受试人测得的相对频率差阈 ($\Delta f/f$),一般人的差阈要稍大些。在中等强度,频率可辨别的纯音约为 1500 个。

在高频和低频,可辨别强度的纯音要比中频的 325 个少;在低强度和高强度,频率可辨别的纯音数也比中等强度的 1500 个少。在整个听觉范围内,强度、频率可辨别的纯音大约有