

第 1 章 音响设备概述



教学导航

教学目标	<ol style="list-style-type: none">1. 了解音响的基本概念, Hi-Fi 音响系统的属性和音响技术的现状;2. 理解音响设备的基本性能指标, 立体声的概念、特点和环绕立体声知识;3. 掌握人耳的听觉特性, 包括听觉等响特性、听觉阈值特性和听觉掩蔽特性;4. 熟悉音响设备的基本组成和声音的三要素。
教学重点	<ol style="list-style-type: none">1. 音响系统的基本组成与主要性能指标;2. 声音的三要素与人耳听觉的基本特性。
教学难点	人耳听觉特性的理解
参考学时	8学时

音响技术是专门研究声音信号的转换、传送、记录和重放的一门技术。音响技术的迅猛发展, 使音频信号的处理方式, 由模拟音频信号处理发展到数字信号处理以及如今的数字信号编码压缩处理; 音频信号记录与重放的存储媒介, 由使用磁性录放技术的磁带发展到使用激光刻录与播放技术的光盘以及如今的多媒体播放器的 FLASH 存储器和移动硬盘存储器; 音频设备的种类, 由调频/调幅收录机发展到数字激光 (CD) 唱机以及如今的 MP3、MP4 播放器、点歌机等现代数字音频播放设备; 音响设备的控制方法, 也由机械控制发展到电子控制以及如今的电脑控制和红外线遥控。

音响新技术的不断涌现与音响设备的频繁换代, 使其品种日益增加、功能越来越多、性能越来越好、体积也越来越小。现在的音响技术已经渗透到广播、电视、电影、文化及娱乐等各个领域。随着音响技术的普及, 渴望学习音响技术的人日益增多, 有必要对音响的基本概念、声音的基本知识、高保真音响系统的基本组成、电声性能指标和现代音响技术等有一个基本的了解。

1.1 音响技术的基本概念

学习音响的基本概念是步入音响技术领域的开端。本节介绍在音响技术中经常遇到的几个基本概念, 如音响、音响系统和高保真等。

音响 (Sound) 是一个通俗的名词。在物理学中, 音响可理解为人耳能听到的声音。然而在音响技术中, 音响是指通过放声系统重现出来的声音。如通过 MP3 播放器等音响设备播放出来的音乐、歌曲及其他声音, 又如演出现场中通过扩音系统播放出来的歌声和音乐声

等，都属于音响范畴。能够重现声音的发声系统，称为音响系统。

1.1.1 高保真（Hi-Fi）及高保真音响系统的属性

音响系统若能如实地重现原始声音，重现原始声场，并能对音频信号进行适当的修饰加工（调音），使重现的音质优美动听，则可称为高保真音响系统。高保真的英文原词为 High-Fidelity，简称 Hi-Fi。它反映了一个高质量的音响设备，如实地记录和重放、传输与重现原有声音信号的本来面貌、保持声音的原汁原味的的基本能力。

高保真音响系统有 3 个重要的属性。

1. 能够如实地重现原始声音

声音的基本特性在物理学中可用声压的幅度、频率和频谱 3 个客观参量来描述，而在人耳听觉中则用声音的音量、音调和音色 3 个主观参量来描述，称为声音三要素。如实地重现原始声音，就是要保持原有音质，使人感觉不到所反映的原始声音质量的三要素有何畸变。这是高保真的基本属性。

2. 能够如实地重现原始声场

室内声场是由声源、直达声、反射声和混响声构成的。如在音乐厅欣赏音乐时，直达声可以帮助听众判断各种乐器的发声方位，反射声和混响声给人一种空间感和包围感，感受到现场的音响气氛。显然，原始声场反映的是一种立体声。如实地重现原始声场，就应该能够重现声源方位和现场音响气氛，使人感到如同身临其境。所以，高保真音响系统必须是立体声发声系统。立体声是高保真的重要属性之一。

3. 能够对声音进行音效调控

音频信号在录制、传输和重放过程中，不可避免地会产生各种失真。因而，高保真音响系统应该采取适当的措施进行均衡补偿和加工处理，以恢复原有音质。另外，音响系统经常用来播放音乐。听音乐是一种艺术享受，但每个人的文化水平、艺术修养、欣赏习惯和追求爱好各不相同。如有人喜欢雄浑有力的中低音，有人追求明亮悦耳的中高音，有人爱好清脆纤细的最高音。所以，高保真音响系统还允许人们根据自己的爱好，对音频信号进行修饰美化，通过调音使声音更加优美动听。这也是高保真的重要属性。

1.1.2 音响技术的现状

今天的音响设备已成为人们生活、工作、学习的重要组成部分。从技术上讲，可以用高保真（Hi-Fi）化、立体声化、环绕声化、自动化、数字化来概括其特点。

1. 高保真化

高保真（Hi-Fi）地进行声音的记录和重放，一直是人们不断追求的目标。人们把那些陶醉于 Hi-Fi 的音响爱好者称为发烧友。随着音响技术的发展和各种电声器件质量的不断提高，目前的高保真程度已经达到相当高的水平。

2. 立体声化

双声道立体声音响设备早已十分普及。而真正的立体声——真实地再现三维空间声源方位的环绕立体声，在杜比实验室研制的杜比数字环绕立体声技术和雅马哈数字声场处理技术推动下，已经走进千家万户，在“家庭影院”中得到广泛应用。目前，杜比数字环绕立体声（Dolby AC-3），数字影院系统（DTS）等重放功能，已成为现代音响设备的重要标志。

3. 自动化

得益于自动控制技术和微型电子计算机技术的飞速发展，现代音响设备的操作均已实现自动化或遥控化控制。如调谐器的自动搜索调谐和电台频率的存储记忆，放音设备的连续放音和编程放音等。

4. 数字化

采用数字信号处理技术的数字音响设备，以其完美的音色和极高的电声性能指标赢得人们的青睐。CD 机、DVD 机等数字音视频设备，成为重要的 Hi-Fi 节目音源；MP3、MP4 播放器以其轻巧、抗震、灵活、美观、无机械部件、便于携带、使用方便等特点成为当今的时尚和人们的最爱。

1.2 高保真音响系统的基本组成

高保真音响系统通常由高保真音源、音频放大器和扬声器系统这 3 大部分组成。其中，由音源部分送来的各种节目信号，经音频放大器进行加工处理并放大，取得足够的功率去推动扬声器工作，放出与原声源相同且响亮得多的声音。同时，由于声音还要经过所在场所的空间才能送给听众欣赏，所以其音响效果既与音响系统的配置有关，也与听音场所的室内声学特性有着密切联系。

Hi-Fi 双声道高保真音响系统的结构如图 1.1 所示。各组成部分的主要作用在下面分别予以介绍。

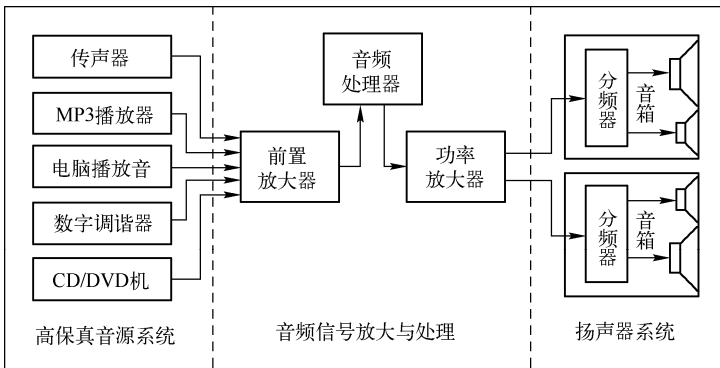


图 1.1 Hi-Fi 双声道高保真音响系统

1.2.1 高保真音源系统

高保真音源有传声器、MP3 播放器、调谐器、电脑中的音频信号、网络音频信号等。以前的录音座、CD 电唱机、VCD 影碟机、DVD 影碟机等现在已很少使用。

1. 传声器

传声器又称麦克风，俗称话筒。传声器是一种换能器，它将声能转换为电能。在剧场、歌舞厅、卡拉 OK 厅、音乐厅及家庭娱乐中，都要利用传声器拾取音频信号。传声器的种类很多，有动圈式、电容式、驻极体式、有线式和无线式等。传声器的频率特性、信噪比和灵敏度等性能直接影响着重现声音的音质。

2. MP3 播放器

MP3 播放器，顾名思义也就是可以播放 MP3 格式的音频播放设备。MP3 格式的音频是一种数字化并经压缩处理后的数字音频信号，其数据压缩率可以达到 1:12，但在人耳听起来却并没有什么失真，因为它将超出人耳听力范围的声音从数字音频中去掉，而不改变最主要的声音。此外，MP3 播放器也可以上传、下载其他任何格式的电脑文件，MP3 播放器具有移动存储功能。

MP3 播放器其实就是一个功能特定的小型电脑。在 MP3 播放器小小的机身里，拥有 MP3 播放器中央处理器（MCU，微控制器）、MP3 播放器存储器（存储卡）、MP3 播放显示器（LCD 显示屏）等。经过音频数据的压缩处理，一张 16GB 的存储卡，大约可以存储 4000 首左右的歌曲，播放 290 小时左右的双声道高保真音乐节目，是人们最喜爱的一种音频节目源。

3. 调谐器

调谐器是一台不包括功率放大器和扬声器的高性能收音机，其功能是接收中波段和短波段的调幅（AM）广播及调频波段的调频（FM）立体声广播，并还原成音频信号。新型调谐器采用数字调谐和数字频率显示技术，具有存储、预选及定时等功能。调谐器是一种不需自备音响载体而又节目丰富的经济音源。特别是接收调频立体声广播时，可以提供高保真的双声道音频信号。

4. 录音座

录音座是一台不包括功率放大器和扬声器的高性能磁带录放机，它根据电磁转换原理，利用磁带记录或重现音频信号。由于采用了轻触式机芯、逻辑控制电路、杜比降噪系统、自动选曲电路和微处理器控制系统等新技术，使录音座的性能指标可以达到较高水平。但随着计算机磁盘与 MP3 播放器技术的发展，这种采用磁带进行记录、存储与播放的功能已基本被电脑的磁盘及 MP3 所取代。

5. CD 唱机与 DVD 机

CD 唱机又称为激光唱机。它利用激光束，以非接触方式将 CD 唱片上记录的声音信息

的数字编码信号检拾出来，经解码器把数字信号还原并变换为模拟音频信号。

DVD 机是既有声音又有图像的高级影音信号源。DVD 盘片大小与 CD 盘片相同，但信息记录密度要高得多，也是采用激光技术与数字录放技术。但它的声音和图像数据在经过压缩处理之后，不仅可以输出接近于 CD 机质量的音频信号，同时还输出高清晰度的视频信号，而且声音采用杜比数码 5.1 声道系统，可以达到更加逼真的 3D 环绕立体声效果。

由于 CD 机与 DVD 机都是利用激光束来读取光盘上的信息的设备，使用不当或日久积聚灰尘均易出故障，故现在的高保真音源中也使用较少。

各种优质音源设备所提供的高保真音频信号，是取得高保真音响效果的源泉。

1.2.2 音频放大器

音频放大器是音响系统的主体，包括前置放大器和功率放大器两部分，必要时可以插入图示均衡器。音频放大器对音频信号进行处理和放大，用足够的功率去推动扬声器系统发声。

1. 前置放大器

前置放大器具有双重功能，即选择音源并进行音频电压放大和音质控制。它将各种不同音源送来的不同电平的音频信号放大为大致相同的额定电平；通过加工处理，实现音质控制，以恢复原始声音，输出高保真音频信号。因此在前置放大器中除必要的放大外，还设置有音量控制、响度控制、音调控制、平衡控制、低频和高频噪声抑制等音质控制电路。所以，前置放大器被誉为音响系统的音质控制中心。

2. 音频信号处理器

音频信号处理器用来对音频信号进行控制、修饰和加工处理，使音质更优美、更悦耳。在专业音响设备中，音频信号处理器可以是调音台、扩音机等设备内部的功能电路，如频率均衡电路、混响电路等；也可以做成一台完整的独立设备，如频率均衡器、延时混响器、音效处理器、谐波激励器等。

3. 功率放大器

功率放大器的作用是放大来自前置放大器的音频信号，产生足够的不失真功率，以推动扬声器发声。功率放大器处于大信号工作状态，动态范围很大，容易引起非线性失真，因此，它必须有良好的动态特性。功率放大器的性能优劣直接关系到音响系统的放音质量，其衡量指标主要有频率特性、谐波失真和输出功率等。

1.2.3 扬声器系统

扬声器系统由扬声器单元、分频器、箱体与吸声材料所组成，其作用是将功率放大器输出的音频信号，分频段不失真地还原成原始声音。扬声器系统对重放声音的音质有着举足轻重的影响。

1. 扬声器

扬声器是一种电声换能器。音响系统中使用最多的是电动式扬声器，它利用磁场对载流导体的作用实现电声能量转换。依据振动辐射系统的不同，电动式扬声器可分为锥形扬声器、球顶形扬声器和号筒式扬声器等，各有不同的特性。

2. 分频器

无论哪一种扬声器，要同时较好地重放整个音频频带（20Hz~20kHz）的声音几乎是不可能的。因此，在高保真音响系统中，通常采用分频的方法，利用不同口径与类型的扬声器的特长，分别承担低频段、中频段或高频段声音的重放任务。低频段宜用大口径锥形扬声器，中、高频段可用球顶形或号筒式扬声器。分频器的作用是各频段扬声器选出相应频段的音频信号，并正确分配馈给各扬声器的信号功率。

3. 箱体与吸声材料

扬声器振膜前后所辐射的声波是互为反相的，其中低频声波因绕射而造成的相位干涉会削弱其辐射功率。为了提高扬声器的低频效率，应把扬声器装在填有吸声材料的箱体里，用来屏蔽与吸收扬声器振膜后方辐射的声波。常见的音箱有封闭式和倒相式等。

综上所述，高保真音响系统能够不失真地传输和重现原始声音。然而，要取得理想的音响效果，还要有声学特性良好的听音场所。否则，即使有一套昂贵的高保真音响设备，也未必能取得预期的音响效果。

1.3 音响设备的基本性能指标

高保真音响系统要如实地重现原始声音和原始声场，其音响设备必须具有比语言和音乐更宽的频率响应范围，更大的音量动态范围；尽可能降低噪声，减小失真；使立体声各声道特性平衡，防止互相串音等。为此，国际电工委员会制定了相应的标准（IEC—581 标准），规定了高保真音响设备和系统特性的最低电声性能要求。我国也根据该标准制定了相应的国家标准（GB/T14277—1993），规定了音频组合设备通用技术条件，提出了各种音响设备的最低电声性能要求和试验方法。下面着重介绍其中 3 项主要的性能指标。其余的性能指标将分别在各章中结合各种音响设备进行介绍。

1. 频率范围

频率范围习惯上称为频率特性或频率响应，是指各种放声设备能重放声音信号的频率范围，以及在此范围内允许的振幅偏差程度（允差或容差）。显然，频率范围越宽，振幅容差越小，则频率特性越好。国家标准规定，频率范围应宽于 40Hz~12.5kHz，振幅容差应低于 5dB，各种音响设备不尽相同。规定有效频率范围，是为了保证语言和音乐信号通过该设备时不会产生可以觉察的频率失真和相位失真。常见乐器与男女声的中心频率范围如表 1.1 所示，各频段声音对听感的影响如图 1.2 所示。

表 1.1 常见乐器及人的声音的中心频率范围

乐器名称	中心频率范围	乐器名称	中心频率范围
电吉他	响度为 2.5kHz, 饱满度为 240Hz	钢琴	频率范围为 16Hz~8kHz, 低音为 80~120Hz, 临场感为 2.5~8kHz, 声音随频率的升高而变单薄
木吉他	低音弦为 80~120Hz, 琴箱声为 250Hz, 清晰度为 2.5kHz、3.75kHz、5kHz	小提琴	频率范围为 160Hz~17kHz, 丰满度为 240~400Hz, 拨弦声为 1~2kHz, 明亮度为 7.5~10kHz
低音吉他	频率范围为 700Hz~1kHz, 提高拨弦音为 60~80Hz	中提琴	频率范围为 120Hz~10kHz
低音鼓	频率范围为 60Hz~7kHz, 低音为 60~80Hz, 敲击声为 2.5kHz	大提琴	频率范围为 60Hz~8kHz, 中心频率为 110Hz~1.6kHz, 丰满度为 300~500Hz
小鼓	饱满度为 240Hz, 响度为 2kHz	琵琶	中心频率为 110~1170Hz, 丰满度为 600~800Hz
吊镲	金属声为 200Hz, 尖锐声为 7.5~10kHz, 镲边声为 12kHz	笛子	中心频率为 440~1318Hz
通通鼓	丰满度为 240Hz, 硬度为 8kHz	二胡	中心频率为 293~1318Hz
地筒鼓	丰满度为 80~120Hz	男歌手	64~523Hz 为基准音区, 男高音频率范围为 120~7kHz, 男低音频率范围为 80~4kHz
电贝司	低音为 80~250Hz, 拨弦力度为 700Hz~1kHz	女歌手	160Hz~1.2kHz 为基准音区, 女高音频率范围为 220Hz~11kHz, 女低音频率范围为 150Hz~5kHz
手风琴	饱满度为 240Hz	交响乐	8kHz 为明亮度
小号	频率范围为 180~10kHz, 丰满度为 120~240Hz, 临场感为 5~7.5kHz	低音萨克管	频率范围为 50Hz~6kHz
长号	频率范围为 80Hz~8kHz	高音萨克管	频率范围为 180Hz~10kHz

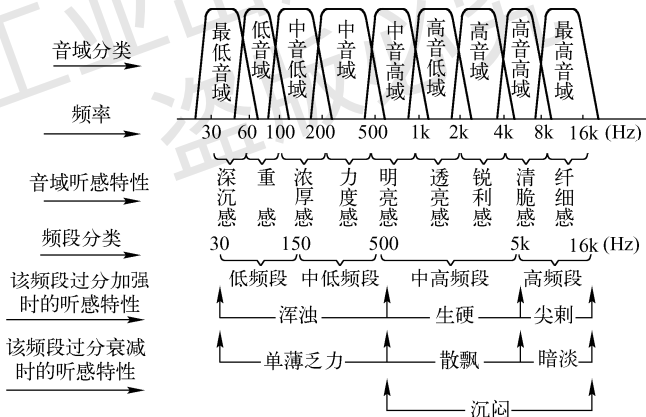


图 1.2 各频段声音对听感的影响

只有音响设备的频率范围足够宽，通频带内振幅响应平坦程度在容差范围之内，重放的音乐才会使人感到低音丰满深沉、中低音雄浑有力、中高音明亮悦耳、高音丰富多彩，整个音乐层次清楚。当然，为了补偿或突出某频段声音，也允许进行修饰美化。

2. 谐波失真

由于各音响设备中的放大器存在着一定的非线性，导致音频信号通过放大器时产生新的各次谐波成分，由此而造成的失真称为谐波失真。谐波失真使声音失去原有的音色，严重

时使声音变得刺耳难听。该项指标可用新增谐波成分总和的有效值与原有信号的有效值的百分比来表示，因而又称为总谐波失真。电压谐波失真系数，可采用国标规定的测试方法分别测量基波和各谐波分量而得到。电压谐波失真系数的值越小，说明保真度越高。例如调谐器的谐波失真一般都小于 0.2%，而 CD 唱机的谐波失真可小于 0.01%。可见，CD 唱机的保真度远胜于调谐器。

3. 信噪比 (S/N)

信噪比全称信号噪声比，记为 S/N ，通常用分贝值表示： $S/N = 20\lg U_S/U_N$ (dB)。该式中的 U_S 为有用信号电压， U_N 为噪声电压。信噪比越大，表明混在信号里的噪声越小，重放的声音越干净，音质越好。

国家标准规定，信噪比可用去调制法或滤基波法来测量。首先测得输出为额定功率时的信号 S (signal)、失真 D (distortion) 和噪声 N (noise) 电压之和 ($S+D+N$)，然后去掉或滤去信号电压 S ，用带通滤波器取出失真和噪声电压 ($D+N$)，计算 ($S+D+N$) 与 ($D+N$) 的比值并取对数，即可获得信噪比的分贝值。另外，信噪比通常有不加权信噪比和加权信噪比两种表示方法。其区别在于后者在取出失真和噪声电压后还要通过 A 计权网络，在数值上后者大于前者。

上述 3 项性能指标是音响设备最基本的性能指标。各种音响设备还有表征各自特性的其他性能指标，如功率放大器的输出功率、增益、瞬态特性、动态范围、左右声道分离度等。

1.4 声音的基本知识

声音的基本知识包括声音的基本性质、听觉的基本特性、立体声基本原理等。掌握这些基本知识，是正确理解音响技术所涉及的性能指标、电路原理和维修的必要基础。

1.4.1 声音的基本性质

声音是声源振动引起的声波传播到听觉器官所产生的感受。因此，声音是由声源振动、声波传播和听觉感受 3 个环节所形成的。下面首先来看声波的传播特性。

1. 声波的传播特性

通常情况下，声波在空气中的传播速度约为 340m/s，在液体及固体中的传播速度都要快得多。声波在传播过程中不仅会衰减，而且遇到障碍物还会产生反射与散射、吸收与透射、绕射与干涉等现象。

(1) 声波的反射与散射。声波从一种媒质进入另一种媒质的分界面时，会产生反射现象。例如声波在空气中传播时，若遇到坚硬的墙壁，一部分声波将反射，反射角等于入射角。当声波遇到凹面墙时，声源发出的声波经凹面墙反射后可以向某点集中，称为声波的聚焦；当声波遇到凸面墙时，将产生扩散反射，声波遇到凹凸不平的墙面则产生散射现象。

(2) 声波的吸收。当声波遇到障碍物时，除了产生反射现象外，还有一部分声波将进入

障碍物，进入障碍物（如吸声材料）的声波能量转变为热能而损失的现象称为吸收。障碍物吸收声波的能力与其材料的吸声特性有关。

声波的反射与吸收现象是听音环境设计中首先需要考虑的问题。在演播室、听音室、歌剧厅和电影院的四周总是建造成凹凸不平的墙面，就是为了使声波产生杂乱反射，形成均匀声场，并让墙壁吸收一部分能量，使这些空间具有适当的混响时间。

(3) 绕射。当声波遇到墙面或其他障碍物时，会有一部分声波绕过障碍物的边缘而继续向前传播，这种现象称为绕射。绕射的程度取决于声波的波长与障碍物大小之间的关系。若声波波长远大于障碍物的线度尺寸，则绕射现象非常显著；若声波的波长远小于障碍物的线度尺寸，则绕射现象较弱，甚至不发生绕射。因此，对于同一个障碍物，频率较低的声波较易绕射，而频率较高的声波不易绕射。这种现象表现为低频的声音在传播时没有方向性，而高频的声音在传播时则有较强的方向性。

当声波通过障碍物的洞孔时，也会发生绕射现象。若声波波长远大于洞孔尺寸时，洞孔好像一个新的点声源，声波从洞孔向各个方向传播。当声波波长小于洞孔尺寸时，只能从洞孔向前方传播。

由于反射和绕射的共同作用，从没有关严的门缝里传播到房间中的声波几乎和门打开时的情况不相上下。

(4) 干涉。干涉是指一些频率相同的声波在传播中互相叠加后所发生的一种现象。多个声源发出的声波，在传播过程中会产生叠加。如果两个声波的频率相同，相位也相同，即同一时刻处于相同的膨胀或压缩状态，则两个声波互相叠加而使声波增强；如果两个声波的频率相同，相位相反，则叠加会使声波互相抵消；如果两个声波频率相同，相位不同，则叠加会使声波在有的地方增强，有的地方削弱。若两个声波的频率、相位都不同，则叠加是复杂的。声波干涉的结果是使空间声场有一个固定的分布。在扩声系统中需要通过改变扬声器的摆放位置与角度来调节声场分布的均匀性。

除了上述几种主要特性外，声波在传播过程中还有折射与透射现象、谐振现象、衰减现象等特性，即使声波在空气中传播也会有一部分声能损失而衰减。

2. 声音的三要素

声音主要是通过音量、音调、音色这 3 个要素来表现其特性的。在日常生活中，习惯用音量的大小、音调的高低和不同的音色来区分各种声音。这不仅与声音的声压、频率和频谱有关，而且也包括听者的心理和生理因素。

(1) 音量。音量又称响度，是指人耳对声音强弱的主观感受。音量的大小主要取决于声波的振幅大小，如图 1.3 (a) 所示。

(2) 音调。音调又称音高，是指人耳对声音的调子高低的主观感受。音调主要取决于声波的基波频率，如图 1.3 (b) 所示。

(3) 音色。音色又称泛音，是指人耳对声音特色的主观感受。音色主要取决于声音的频谱结构（即谐波成分），如图 1.3 (c) 所示。不同的乐器，由于材料与结构不同，发出声音的音色也就不同，即使发音的响度和音调完全相同，人耳也能通过不同的音色将它们分辨出来，因此音色是人耳判别声源特色的主要因素。另外，音色也与声音的响度、音调、持续时间、建立过程及衰变过程等因素有关。

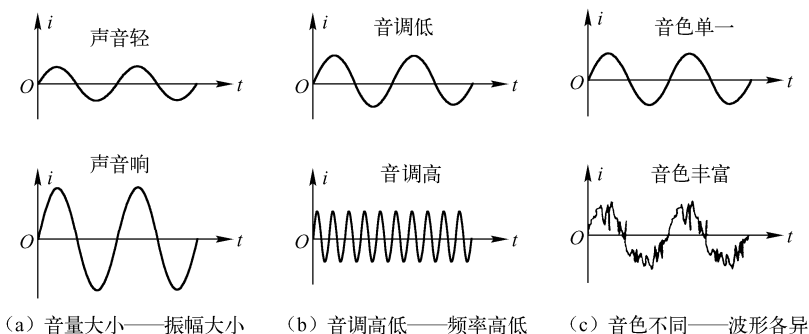


图 1.3 声音的性质和与之对应的波形

1.4.2 人耳听觉的基本特性

1. 人耳的听觉范围

人耳能够听到声音的听觉范围有两个方面：一是声波的频率范围，二是声压的幅值范围。人耳能听到的声音的频率范围称为可闻声，而听阈和痛域则决定了人耳能够正常听音的声压幅值范围。

(1) 人耳听觉的频率范围。人耳听觉的频率范围为 $20\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$ 。这个频率范围内的信号称为音频信号，也称为可闻声，即指正常人可以听到的声音。 20Hz 以下称为次声， 20kHz 以上称为超声。在音频范围内，人耳对中频段 $1 \sim 4\text{kHz}$ 的声音最为灵敏，对低频段和高频段的声音则比较迟钝。对于次声和超声，即使强度再大，人耳也是听不到的。

(2) 人耳听觉的幅度范围。可闻声必须达到一定的强度才能被听到，正常人能听到的幅度范围为 $0 \sim 140\text{dB}$ 。使声音听得见的最低声压级称为听觉阈值，简称阈值，它和声音的频率有关。在良好的听音环境中，听力正常的青年人，在 $800 \sim 5\,000\text{Hz}$ 频率范围内的听阈十分接近于 0dB ， 0dB 定义为声波的强弱为 $20\mu\text{Pa}$ （帕）的声压值， 1 个大气压= 10^5Pa 。当左右两耳听阈有差异时，双耳听阈主要决定于灵敏度较好的那只耳朵。当两耳灵敏度完全相同时，能听到的声音更微弱，双耳听阈比单耳听阈可低 3dB 左右。当声音的声压级增大，达到 120dB 时，人耳感到不舒适；声压级大于 140dB 时，人耳感到疼痛，使耳朵感到疼痛的声压级称为痛域，它与声音的频率关系不大；声压级超过 150dB 时，人耳会发生急性损伤。

2. 听觉等响特性

听觉等响特性是反映人们对不同频率的纯音的响度感觉的基本特性，通常用等响曲线来表示。如图 1.4 所示是国际标准化组织（ISO）推荐的等响曲线，这是对大量具有正常听力的年轻人进行测量统计的结果，该曲线中声音的响度用“方”（phon）表示，以典型听音者刚能听到 1kHz 纯音的响度作为 0 “方”。等响特性曲线说明了人耳判断声音的响度，与声压级和频率都有关系。

等响特性曲线反映的一个基本规律，是人耳对 $3 \sim 4\text{kHz}$ 频率范围内的声音响度感觉最灵敏。这是因为图中纵坐标表示的是耳壳处的声压级，外耳道谐振腔提高了 $3 \sim 4\text{kHz}$ 附近

的声音强度。如果纵坐标表示的是鼓膜处的声压级，那么人耳对 1kHz 声音是最灵敏的。人耳对低频和高频声音的灵敏度都要降低。例如，对于人耳能听到响度为 40phon 的声音，若是 1kHz 的信号其声压级只要 40dB，而如果是 20Hz 的信号其声压级却需要 90dB 才能感到同样的响度，两者的声压级相差 50dB。

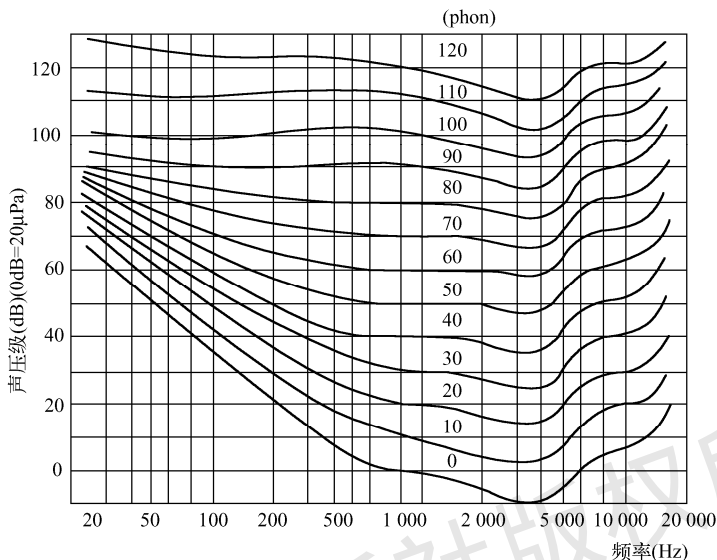


图 1.4 等响曲线

等响特性反映的另一个基本规律是声压级越高等响曲线越趋于平坦，声压级不同，等响曲线有较大差异，特别是在低频段。这个规律在音响技术中是有实际指导意义的。它说明若以低于或高于原始声音的声压级重放声源，则会改变原始声音各频率成分的相对响度关系，产生音色变化。例如，在重音乐时音量开得很小，即使音乐节目中低音成分比较丰富，但听起来低频却明显少，低时不够丰满，不如声音开得大些好听。所以，在放音时，特别是小音量放音时，为了不改变原始音色，就应借助于等响曲线所揭示的听觉特性在电路中进行补偿，以提升低音及高音，这就是所谓的等响控制电路。

3. 听觉阈值特性

听觉阈值特性就是指人耳对不同频率的声音具有不同的听觉灵敏度的特性。通常情况下，正常人能听到的声音强度范围为 0~140dB。人耳在 800Hz~5kHz 频率范围内的听阈十分接近于 0dB，而对 100Hz 以下的信号或 18kHz 以上的信号的听觉灵敏度却大大降低，可觉察的声级明显高于 800Hz~5kHz 的中音频段。

在现代数字音响设备中，如 DVD-Audio (DVD 音频播放器)、MP3 播放器等，就是充分利用了人耳的听觉阈值特性。如果我们把可闻频段的信号保留，而把不敏感频段的信号只反映其强信号，对人耳难以觉察的弱信号则可以忽略，这样就可以使信息量大大减少，如图 1.4 所示。从阈值曲线可以看出，如果舍去阈值界限以下的声音信息，其结果对实际的听音效果毫无影响，但声音的信息量却可大大减少，从而达到了压缩声音信息量的目的。

4. 听觉掩蔽特性

听觉掩蔽特性是指一个较强的声音往往会掩盖住一个较弱的声音，使较弱的声音不能被听到，这种特性有频域掩蔽和时域掩蔽。

(1) 频域掩蔽。频域掩蔽是指在稳定条件下，一个包含多种频率成分的声音同时发声时，幅值较大的频率信号会掩蔽相邻的幅值较小的频率信号，使之完全听不见，而且低于该频率的掩蔽较窄（掩蔽曲线比较陡峭），高于该频率的掩蔽范围较宽，可达该频率的数倍，如图 1.5 所示。

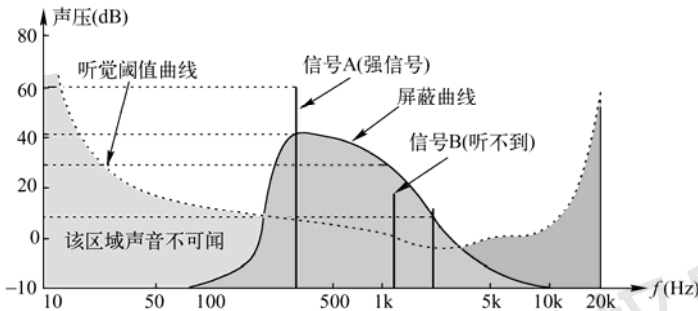


图 1.5 听觉阈值特性和频域掩蔽特性

频域掩蔽特性揭示了当某一频率段附近如果存在着若干频率的声音信号，而其中一个信号 A 的幅度远大于其他信号的幅度，则人耳的听觉阈值将提高，使大音量 A 频率附近的小音量信号变得不可闻，像是小音量信号被大音量信号所掩盖；而与大音量信号不在同一频率附近的小音量信号，其可闻阈值不受影响，一样听得见。例如有一复合音频信号，包含 400Hz、1200Hz、2800Hz 三个频率成分的声音，它们的声压级分别为 60dB、20dB、20dB。对 60dB 的 400Hz 大信号来说，它的掩蔽曲线已示于图 1.5 中，位于该掩蔽曲线下的声音都被它所掩蔽而不能听到，由该掩蔽曲线可见，它在 400Hz 附近的掩蔽量为 40dB，在 1200Hz 处的掩蔽量为 32dB，在 2800Hz 处的掩蔽量为 8dB。所以，此时人耳只能听到 400Hz 的大信号和 2800Hz 的小信号（2800Hz 在听阈以上只有 $20\text{dB} - 8\text{dB} = 12\text{dB}$ ），1200Hz 的信号听不到。

在现代数字音频技术中，人耳听觉的这种掩蔽特性非常有用。根据这一特性，可以将大音量信号频率附近的小音量信号舍去，仍不会影响实际听音效果，但信息量会大大减少，从而达到压缩声音信息量的目的。

(2) 时域掩蔽。人耳除了对同时发出的声音在相邻频率信号之间有掩蔽现象以外，在时间上相邻的声音之间也存在掩蔽现象，称为时域掩蔽。时域掩蔽分为前掩蔽和后掩蔽。如图 1.6 所示。一般说来，前掩蔽时间很短，大约只有 5 到 10 毫秒，而后掩蔽时间较长，可达 50 到 200 毫秒。产生时域掩蔽的主要原因是人的大脑处理信息需要花费一定的时间，导致紧随强信号后的弱信号听不到。

根据时域掩蔽特性，在现代数字音频技术中，处理与传送音频信号的数据时，代表信号幅度的数据，可以从数毫秒传送 1 次延长到每几十毫秒传送 1 次，起到进一步压缩声音信息量的作用。

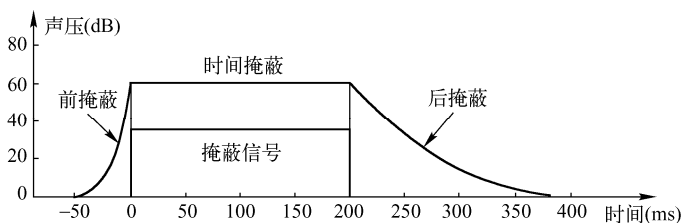


图 1.6 时域掩蔽特性

5. 哈斯效应

人耳对回声的感觉规律，首先是由哈斯提出的，故称为哈斯效应（Haas Effect）。其内容为：当两个频率相同、幅度相等的声源按不同的时间从不同方向传到入耳时，人耳对声源方位的听觉会出现下列 3 种情况：

(1) 一个声音比另一个声音先到达 5~30ms，则会感觉到一个延长了的声音，它来自先到达声音的方向，迟到的声音好像不存在。

(2) 若两个声音先后到达的时间差为 30~50ms，就会感到存在两个声音，声音的方向仍由先到达的声音决定。

(3) 如果两个声音先后到达的时间在 50ms 以上，则可清楚地听到两个声音来自各自方向。

利用哈斯效应，可以在常规条件下，利用人工延时、混响等技术来调整、合成各声道的发声，以模拟出音乐厅、电影院等厅堂的音响效果。

6. 德·波埃效应

德·波埃效应是一种利用不同的声音到达人耳的声级差（即强度差）和时间差来确定声音方位的听觉效应。若将两只扬声器左右对称地放在听者正前方，则听者感觉到两扬声器的声的声像位置有下列 3 种情况：

(1) 当馈给两只扬声器的信号相等时，两只扬声器的发声无强度差与时间差，此时听者感觉声音来自两扬声器的中间方向。

(2) 当馈给两扬声器的信号无时间差，但增益不同而使发声的音量有强度差时，则声像位置向音量大的扬声器方向移动。

(3) 当馈给两扬声器的信号无强度差，但延时量不同而使两扬声器的发声有时间差时，则听者所感觉到的声像位置向先到达的扬声器方向移动。

上述时间差和强度差所产生的听觉效果类似，并且在声级差小于 15dB 和时间差小于 3ms 时，两者近似呈线性关系，即大约 5dB 的声级差与 1ms 的时间差所引起的声像移动量相同。

1.4.3 立体声基本知识

立体声基本知识是研究现代音响设备工作原理的基础。

1. 立体声基本概念

人耳对于声音的鉴别不仅有强弱、高低之分，还有确定声音方向、位置的能力。在音

乐厅内欣赏交响乐时，不但能区别出乐器的类别，还能判断出各种乐器的位置。这种具有方位、层次等空间分布特性的声音就称为立体声。

用立体声音响技术来传播和再现声音，不仅能反映出声音的空间分布感，而且能够提高声音的层次感、清晰度和透明度，明显地改善重放声音的质量，大大地增强临场效果。

2. 立体声的成分

在音乐厅中，立体声的成分可以分为3类，如图1.7所示。

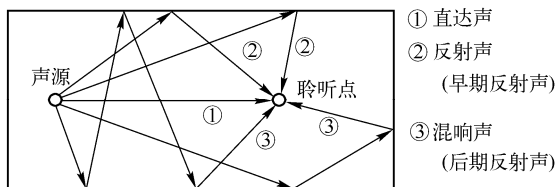


图 1.7 直达声、反射声、混响声

第1类为直达声。它们从舞台上直接传播到听众的左、右耳。同一声音到达双耳所形成的声级差和时间差对判断乐器的方位起着决定作用。直达声能帮助人们确定声源方位。

第2类为反射声。它们是从音乐厅内的表面上经过一次反射后，到达听众耳际的声音，约比直达声晚十几到几十毫秒到达耳际。它对听众判断音乐厅空间的大小起决定作用，同时对听众心理也有重要影响。该时差小于20ms，会令人感到音质亲切；滞后30~50ms时，听众会感到连发两次，给人一种浮雕感；滞后50ms以上时，反射声犹如清晰的回声。一般音乐厅将初始反射声时差设计为小于30ms，以20ms为最佳。总之，反射声给人空间感，可以感觉到音乐厅的空间大小。

第3类为混响声。它们是声音在厅堂内经过各个边界面和障碍物多次无规则的反射后，形成弥漫整个空间、无方向性的袅袅余音。混响时间的长短决定于厅堂的几何形状及各界面吸音特性。混响时间对音质和清晰度有着重要的影响。总之，混响给人包围感，可以感受到声音在三维空间环绕。

反射声和混响声共同作用，综合形成现场环境音响气氛，即产生所谓临场感。优良的立体声应能再现这些要素。

3. 立体声的特点

与单声道重放声相比，立体声具有一些显著的特点。

(1) 具有明显的方位感和分布感。用单声道放音时，即使声源是一个乐队的演奏，聆听者仍会明显地感到声音是从扬声器一个点发出的。而用多声道重放立体声时，聆听者会明显感到声源分布在一个宽广的范围，主观上能想象出乐队中每个乐器所在的位置，产生了对声源所在位置的一种幻像，简称为声像。幻觉中的声像，重现了实际声源的相对空间位置，具有明显的方位感和分布感。

(2) 具有较高的清晰度。用单声道放音时，由于辨别不出各声音的方位，各个不同声源的声音混在一起，受掩蔽效应的影响，使听音清晰度较低。而用立体声系统放音，聆听者明显感到各个不同声源来自不同方位，各声源之间的掩蔽效应减弱很多，因而具有较高

的清晰度。

(3) 具有较小的背景噪声。用单声道放音时，由于背景噪声与有用声音都从一个点发出，所以背景噪声的影响较大。而用立体声系统放音时，重放的噪声声像被分散开了，背景噪声对有用声音的影响减小，使立体声的背景噪声显得比较小。

(4) 具有较好的空间感、包围感和临场感。立体声系统放音对原声场音响环境的感觉是单声道放音所望尘莫及的。这是因为立体声系统能比单声道系统更好地传输近次反射声和混响声。音乐厅里的混响声是无方向性的，它包围在听众四周；而近次反射声虽然有方向性，但由于哈斯效应的缘故，听众也感觉不到反射声的方向，即对听感来说也是无方向性的。单声道系统中，重放的近次反射声、混响声都变成一个方向传来的声音；而立体声系统中，能够再现近次反射声和混响声，使聆听者感受到原声场的音响环境，具有较好的空间感、包围感和临场感。

4. 立体声定位机理

立体声的定位机理主要是通过人的双耳效应和耳廓效应进行的，它是双声道立体声放音系统的基础。

(1) 双耳效应。人的双耳位置处在头部的两侧，假如声源不在听音者的正前方而是偏向一边，即偏离听音者正前方的中轴线，则声音到达两耳的距离不等，时间和相位就有差异，如图 1.8 所示。同时人的头部对侧向入射的声波，由于其中一只耳朵有遮蔽效应，因而传入两耳所感受的声音强度也有差别，即为声级差。就因为存在这些差异，才使我们能辨别出声源的方向来。如果用手捂住一只耳朵，则方向感就会立即下降。

人的听觉中枢神经便是根据声音到达两耳的声级差 ΔL_p 、时间差 Δt 、相位差 $\Delta\varphi$ 等因素进行综合判断，来确定声音方位，所以称为双耳效应，这是人能够确定声音方位的最主要因素。另外，人耳辨别声音方向的能力还与声音的频率有关。声学常识告诉我们，传播中的声波如果遇到几何尺寸等于或小于声波波长的障碍物，声波可以绕射过去。由于人的两耳之间的平均距离在 16.25~17.5cm 之间，正好对应 800~1 000Hz 频率声波波长的一半。当频率低于 1kHz 时，由于其波长大于 17.5cm，因此声波能绕过人的头部而达到被遮蔽的那只耳朵，使偏离中轴线的低频声波到达两耳的声级差和时间差极小；当频率高于 1kHz 时，由于其波长较短，声波不能绕过头部传送，所以到达被遮蔽的那只耳朵的声级也就比另一只耳朵的声级低得多。故在双耳效应中，低音主要依靠相位差来判别，高音主要依靠强度差来判断。

(2) 耳廓效应，也称单耳效应。人耳的轮廓结构较复杂，当声源的声波传到入耳时，不同频率的声波会由于耳廓形状特点而产生不同的反射。反射声进入耳道与直达声之间就产生了时间差和相位差，其时间差一般在几微秒到几十微秒之间，我们把这种效应称为耳廓效应，如图 1.9 所示。

耳廓效应对声音定位能起到一定的辅助作用，特别是频率较高的声音。当声波波长较短时，声波在两耳间形成的相位差对声音定位已无明确意义，但此时因耳廓效应，反射声与直达声在同一耳道中形成的相位差却是明显的，人耳的听觉神经中枢便根据这一相位差对声音进行辅助定位。正是由于耳廓效应，有时凭借一只耳朵也能对声音进行定位。

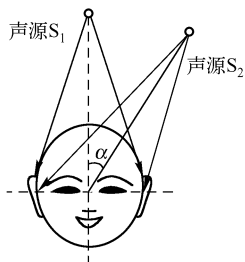


图 1.8 双耳效应与声音方位的关系



图 1.9 耳廓效应

1.4.4 环绕立体声

当人们到音乐厅欣赏音乐时，除了直接听到从舞台上发出的乐器演奏声之外，还可以听到周围墙壁反射的混响声。然而，当我们利用双声道立体声系统播放音乐节目时，所能感受到的“声像”就仅为“点声源”，至多为“面声源”，这就失去了音乐厅里那种声音来自四面八方的立体感和空间感。为了弥补双声道立体声系统的这一缺陷，人们又研制、发展了环绕立体声系统。

1. 什么是环绕立体声

环绕立体声是一种多声道立体声系统，它能够产生类似于立体空间形式的“声像”，使重放声场具有回旋的、缭绕的、空间的感觉，带有真正“立体效应”，聆听者犹如置身于真实的实际声场中，我们称这种立体声为“环绕立体声”，能产生环绕立体声的音响设备则称为环绕立体声系统。

环绕立体声是在双声道和多声道立体声的基础上发展起来的。不同之处在于它增加了后方的环绕声道，因而大大增强了声像的纵深感和临场感。而通常所指的环绕声，就是指声场中位于聆听者后方的声场，这个后方声场主要由混响声构成，其特点是无固定方向，均匀地向各个方向传播。因其包围着或者说环绕着聆听者，使听音者获得了空间感和包围感，故此得名。

2. 环绕立体声系统的类型

目前，环绕立体声系统主要有以下几种。

(1) 杜比环绕声系统 (Dolby Surround System)，即 Dolby AC-1。杜比环绕声系统是一种能兼容双声道立体声的多声道环绕立体声系统。它是由杜比实验室研制的一种矩阵式 4 声道立体声，它通过矩阵运算对原信号进行处理，将 4 声道信号变换 (编码) 为两路信号，以便由双声道音频系统进行传输或记录；在还音时又将两路编码信号还原 (解码) 为 4 声道信号，再通过前左 (L)、前右 (R)、中央 (C)、后环绕 (S) 等扬声器系统进行放音，从而营造出一个具有空间包围感的立体声场。

(2) 杜比定向逻辑环绕声系统 (Dolby Pro-Logic Surround System)，即 Dolby AC-2。杜比定向逻辑环绕声系统是对杜比环绕声系统进行改进后的环绕声系统，仍属于矩阵式 4 声道系统。它通过方向增强技术，采用自适应矩阵代替原有的固定式矩阵，并增设了中置声道和

中置声道模式控制电路,使各声道的信号分离度大大提高,方向感更强,声道之间的串音大为降低,所营造的三维环绕声场与杜比环绕声有了很大的改善。

(3) 杜比数字环绕声系统 (Dolby Surround Digital), 即 Dolby AC-3。Dolby AC-3 是 5.1 声道的数字环绕声系统, 即前左 (L)、前右 (R)、中置 (C)、后左环绕 (S_L)、后右环绕 (S_R) 5 个声道, 另加一个重低音 (SUB)。各声道完全独立、全频响 (即 5 个声道的频响均为 20Hz~20kHz)。AC-3 是一种数字音频感觉编码系统, 即利用人耳的听觉掩蔽特性来对各声道的数字音频信号进行高效的压缩编码处理, 使 5 个声道的音频数据传输量大大减少。AC 是 Audio Perceptual Coding System, 即音频感觉编码系统的缩写。由 AC-3 所营造的三维环绕声场具有极高的保真度和极好的环绕声效果, 各项性能指标比上述的两种模拟音频技术的环绕声要高出很多。现在, Dolby AC-3 在电影、DVD、数字电视等方面得到普遍应用。

(4) 数字影院系统。数字影院系统称为 DTS (Digital Theater System), 这是继杜比 AC-3 之后出现的一种效果更好的环绕声系统。DTS 采用了一种新的数字环绕声格式来记录声音, 其最大特点是它的声画分离方式。DTS 的声音处理需要有专门的 DTS 解码器。DTS 也为 5.1 声道 (类似于杜比数字环绕声)。在 DTS 标准中, 左、中、右 3 路的频响为 20Hz~20kHz, 左环绕、右环绕声道的频响为 80Hz~20kHz, 超低频为 20~80Hz。DTS 系统在实际听音中, 可以得到更清晰的声场分布和身临其境的感觉。

(5) 虚拟环绕声系统。虚拟环绕声系统是利用虚拟扬声器技术, 通过双声道系统来再现三维 (3D) 环绕立体声效果的一种新颖的环绕声系统。这种环绕声系统只要用双声道的功率放大器和两个声道的音箱, 即可虚拟出 3D 环绕声场, 实现三维环绕声效果。不需像杜比环绕声那样, 需要配置 4 声道或 5 声道的功率放大器和音箱, 以及配置杜比环绕声解码器, 可以大大节省音响设备的投资。目前使用的有 SRS (Sound Retrieval System, 声音恢复系统)、Q-Sound、Spatializer (空间感环绕声)、VDS (Virtual Dolby Surround, 虚拟杜比环绕声系统) 等, 其中 SRS 虚拟环绕声的应用最为普遍。

1.5 室内声学

人耳听音的实际音响效果与室内声学特性有着密切的联系。本节从应用角度对室内声学的基本知识与基本特性进行简要介绍。

1.5.1 室内声学特性

对音响效果有决定作用的室内声学特性主要包括 3 个方面, 即室内声场分布、隔音效果和混响效果。

1. 声场分布

理想的室内声场分布应该是均匀的, 即室内空间各点的声能密度均匀一致, 各点的音量大小基本一致。如果室内声场不均匀, 在发出猝发声后, 会有嗡嗡声不绝于耳, 如同洞穴里的拖尾音效果, 将影响正常听音。

造成室内声场不均匀的因素很多, 如四周墙壁形状对声波的反射、物件摆设对声波的

影响等，其中首先应该考虑的是房间尺寸。每个房间都有3个与其高、宽、长有关的固有谐振频率，如果高、宽、长的尺寸比例不合适，使谐振频率分布不合理，就会产生声染色，使得话音的某些频率成分不自然地得到加强，因而讲话声变得生硬、刺耳。室内声染色也会影响音乐，只是不易觉察。

为了使室内声场分布均匀，避免声染色现象的发生，需要注意的一条原则是不要使房间的高、宽、长的比例为整数之比，如1:2:3是不合适的比例。合适的房间尺寸比例，是产生均匀声场的必要条件，但不是唯一的条件。

2. 隔音效果

隔音是为了防止外来噪声干扰音响效果。外界的噪声来源很多，如马路上的汽车喇叭声、行人的喧闹声、空调机的振动声、鼓风机的马达声等。它们一般通过两种途径传入室内，即空气传导和固体传导。

噪声经空气媒质，从房间的门、窗、墙透进室内。通常可采用双层门、窗、墙，在门廊墙面和天花板上用吸声效率高的材料覆盖。将听音室背向马路或远离市区等，能够有效地隔离外界噪声，达到较好的隔音效果。

但是，经固体构件传入室内的噪声是很难消除的。如马路上重型车辆开动引起的噪声经建筑物本身振动传入室内，在一般情况下几乎是毫无办法。只有采用浮地建筑，才能取得一些隔音效果。

3. 混响效果

混响效果决定于混响时间，与室内四周墙壁与地板及天花板等吸声能力的强弱有关，是影响音响效果的主要因素，下面将进行详细些的讨论。

1.5.2 混响时间

已经知道，室内声音包括直达声、反射声和混响声。其中混响声是指经过多次往复反射所形成的袅袅余音。混响声从最强值到衰落60dB（即百万分之一）为止，所经历的时间称为混响时间。

1. 混响时间估算

混响时间与房间的容积、面积、墙面与地面及天花板材料的吸声系数有关，还与房间内物件摆设及人员多少等因素有关。通常，在声场均匀分布的封闭室内的混响时间，可用著名的赛宾公式进行工程估算：

$$T_{60} = 0.161 \cdot V / A, \quad A = S \cdot \bar{\alpha}$$

式中， T_{60} 为混响时间，单位为秒（s），下标表示衰减60dB所需的时间；

V 为房间的容积，单位为 m^3 ；

S 为室内总表面积，包括地面、四周墙面及天花板，单位为 m^2 ；

A 为室内总吸声量；

$\bar{\alpha}$ 为室内表面的平均吸声系数。

若室内各块内表面的材料不同，则总吸声量 A 及平均吸声系数 $\bar{\alpha}$ 分别为：

$$A = \alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \cdots + \alpha_n \cdot S_n = \sum \alpha_i \cdot S_i$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \cdots + \alpha_n \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \cdots + S_n} = \frac{\sum \alpha_i \cdot S_i}{\sum S_i}$$

式中, α_i 为室内表面各种不同材料的吸声系数;

S_i 为各种不同材料的面积。

赛宾公式揭示了混响时间的客观规律, 是一个高度简化的声学模型。根据房间内各种材料的面积与吸声能力, 由该公式即可估算出混响时间的大小。在音响工程的室内声学设计时, 一般都用它来估算闭室的混响时间。

2. 最佳混响时间

一个房间的混响时间不同, 其音响效果亦不同。混响时间过短, 只能听到直达声和近次反射声, 使人感到声音干闷; 混响时间过长, 混响声会掩盖或干扰后面发出的声音, 有隆隆声的感觉, 从而降低了清晰度, 因此应该选择一个最佳混响时间。

最佳混响时间视房间的用途不同而有所差别。对于语言录音室, 为保证清晰度, 应使混响时间短些, 如 0.30s 左右, 对于以语言为主的大型会场, 混响时间也不宜过长, 可选取 0.8~1.0s 左右; 对于剧院、音乐厅等以音乐为主的场所, 其混响时间可稍长些, 约 1~2s 左右。

通过室内的声学处理或者运用混响器, 可以有效地控制混响时间。

1.5.3 吸声材料

吸声材料用于室内声学处理, 以控制混响时间。由于粘滞性、热传导性和分子吸收效应, 吸声材料可把声能转变为热能。

按照材料的物理性能和吸声方式, 吸声材料可分成多孔材料, 薄板共振吸声材料和空腔共振吸声材料。不同的吸声材料具有不同的吸声系数, 如石膏板、胶合板、玻璃、水泥地面、木地板、窗帘等都有不同的吸声系数。

吸声材料一般装在房间的边界面上, 但也可以作成单元悬挂在空间。吸声材料按照各自的技术条件并根据房间的吸声要求进行选择。除了在宽的频率范围内要求具有高的吸声系数外, 还应考虑其力学特性, 如压缩性、耐冲击性、抗弯强度和稳定性, 以及防潮、耐火、施工简便和价格适宜等因素。最后, 吸声材料也是房间的装饰材料, 还应该考虑其美观的装饰特性。

本章小结

音响是指通过放声系统重现的声音, 音响技术是研究声音信号的转换、传送、记录和重放的专门技术。高保真具有 3 个重要属性, 即如实地重现原始声音、如实地重现原始声场、能够对音频信号进行加工处理。

音响技术的发展已有一百多年的历史。从爱迪生发明筒形留声机, 到今天的各式各样的激光、数字音响设备、音乐中心和家庭影院等, 可谓日新月异、层出不穷。现代音响技术正沿着高保真、环绕立体声、

集成化、智能化、数字化的方向不断发展。

高保真音响系统由高保真音源、音频放大器和扬声器系统 3 部分组成。高保真音源有调谐器、录音座、激光唱机和 DVD-Audio 等，其作用是提供高保真音频信号。音频放大器有前置放大、处理器和功率放大器两部分，必要时可插入图示均衡器，其作用是进行音频放大与音质控制，以足够的功率去推动扬声器发声。扬声器系统包括扬声器、分频器和箱体，它将音频信号不失真地还原成原始声音。高保真音响效果不仅与音响系统有关，还与听音场所的声学特性有关。

高保真音响设备的电声性能主要是从频率范围、谐波失真、信噪比、动态范围及立体声效果等几个方面来衡量的。其中最基本的 3 项性能指标是有效频率范围、谐波失真和信噪比。

声音是声波传播到听觉器官所产生的感受。听觉能够感受到声音的范围，与声波的频率（20Hz～20kHz）及强度（0～140dB）有关。人耳能够判别声音的音量、音调、音色和方位。人耳的听觉特性有：听觉等响特性、听觉阈值特性、听觉掩蔽特性以及哈斯效应与德·波埃效应等。其中，听觉掩蔽又有频域掩蔽和时域掩蔽两种。这些特性是研究现代音响技术，特别是数字音响技术的基础。

立体声是指具有方位感、层次感、包围感等空间分布特性的声音。立体声收音系统能够重现原始声场的相对空间位置，而且立体声的声像清晰度高、背景噪声小。人耳在现实声场中听到的声音是声源的直达声、反射声和混响声共同作用的结果。

人耳的声像定位是依靠声音到达双耳的时间差、强度差（声级差）、相位差和音色差进行的，低音主要依靠相位差来判别，高音主要依靠强度差来判别。

环绕立体声系统是在双声道和多声道立体声的基础上增加了后方的环绕声道，使声像的纵深感、包围感和临场感得到增强。

室内听音的实际音响效果与室内声学特性有着密切联系，决定音响效果的室内声学特性主要包括 3 个方面，即声场分布、隔音效果、混响效果。混响效果决定于混响时间。通过适当的室内声学处理，可以获得最佳混响时间，也可以用混响器来调节混响时间。



习题 1

- 1.1 什么是音响、音响设备、音响系统？
- 1.2 高保真音响系统有哪些重要属性？
- 1.3 音响技术的现状有什么特点？
- 1.4 高保真音响系统由哪些部分组成？各部分的主要作用如何？
- 1.5 音响设备中的频率范围、谐波失真、信噪比的含义是什么？
- 1.6 人耳听觉的频率范围、听阈、痛域分别是多少？
- 1.7 什么是声音的三要素？它与声波的幅度、频率和频谱的对应关系如何？
- 1.8 分别说明听觉等响特性、听觉阈值特性、听觉掩蔽特性的含义。
- 1.9 什么是立体声？立体声的成分如何？立体声有哪些特点？
- 1.10 什么是环绕立体声？它与双声道立体声有什么区别？
- 1.11 室内哪些声学特性会影响音响效果？