

# 第一章 绪 论

## 第一节 中国音响发展概况

音响通常指能实现收音、录音、放音和唱歌功能的电声设备。音响又有家用音响和专业音响之分。常见家用音响包括收音机、录音机、电唱机、激光唱机（有时称 CD 机）、环绕声处理器、卡拉 OK 机、图谱均衡器、功率放大器（有时简称功放）及音箱等。将上述这些单独的音响设备组合起来，就构成了收、录、放、唱功能齐全的组合音响。将组合音响与影碟机、大屏幕彩色电视机结合起来，就构成了家庭影院，可营造出与专业影院相媲美的影音效果。下面简单介绍最常见的家用音响设备。

### 一、收音机

收音机技术的核心是无线电技术。每当我们打开收音机的时候，首先应该感谢下列无线电技术的发明者。1831 年，英国人法拉第发现了电磁感应现象，从而奠定了电磁学的基础。1864 年，英国人麦克斯韦预言了电磁波的存在，发表了著名的麦克斯韦方程式。1887 年德国人赫兹用实验证实了麦克斯韦这一天才的预言。1895 年，意大利人马可尼被赫兹的实验所吸引，首次实现了 1.7 公里的无线电通信实验。1901 年，美国人弗登森提出了外差法，这是对无线电接收技术的重大突破。外差法一直沿用至今，到目前为止，再也没有比外差法更高明的接收方法。1919 年，美国人阿姆斯特朗开始研究超外差接收机，从而使得美国于 1920 年开始了无线电广播。1935 年，阿姆斯特朗又发明了调频收音机技术。

收音机是普及率极高的家用电器之一。在组合音响中，去除收音机的音频放大电路，收音机又被称为“调谐器”。

我国收音机的生产在 20 世纪 70 年代以前，市场主力产品是调幅（AM）收音机，而且是电子管收音机和半导体分立元件收音机。20 世纪 80 年代以来，调频（FM）、调幅（AM）、立体声、多波段及全波段等产品层出不穷，数字调谐技术的应用，更使收音机向数字化迈进，小型化、高灵敏度及音质改善成为其发展主流。

### 二、录音机

录音机也是普及率极高的家用电器之一。在组合音响中，去除录音机的功率放大电路，录音机又被称为“录音座”。

1898 年，丹麦科学家波尔森首先发明了以钢丝为磁性体的原始录音机，从而揭开了磁记录技术的序幕。1907 年，波尔森又发明了直流偏磁录音技术。1927 年，美国人卡尔森和卡潘特发明了交流偏磁录音技术。1926 年，美国人奥奈尔发明了用纸作带基的磁带，1935 年德国通用电气公司制成了塑料带基磁带。

1963 年，荷兰飞利浦公司首先研制成功盒式录音机，磁带被密封在一个特制的小盒子里，从此磁带录音机出现了蓬勃发展的局面。

早在 20 世纪 50 年代初，我国上海就诞生了钢丝录音机生产企业，但直到 20 世纪 70 年代末，我国仍只有上海和石家庄等地区的几家专业厂，年产量只有 2 万多台，而且大多仅限于集团消费，家庭消费只占极少份额。

20 世纪 70 年代末，中国录音机工业开始了大发展，企业从几家猛增到几十家，形成以上海、北京、天津、广州、武汉等为中心的集群式格局。产量从 1979 年的 16.5 万台 迅速发展 到 1985 年的 1400 万台 几乎增长了近 100 倍。自 1992 年起，国产录音机总量每年都超过 1 亿 台 最高时 曾突破 2 亿台，成为世界上最大的录音机生产加工基地。

磁带录音机技术在 20 世纪 80 年代发展到尽头，双卡复制、电脑选曲、立体声展宽及杜比降噪等先进技术相继应用于录音机。20 世纪 90 年代 CD 唱机登场 由于 CD 唱机的音质大大 优于录音机，使得人们首选 CD 唱机来欣赏音乐。目前市场上的磁带录音机功能逐渐简化，磁 带录音机一般仅仅为学生学习而设计。

### 三、激光唱机

1980 年之前，我国只有惟一的品牌——“中华”牌单声道交流电唱机，由于市场需求的增 加 进入 20 世纪 80 年代后一下子有二十余家企业相继上马生产此种唱机，并把直流微型电机 装入唱机 形成了交、直流两用机。

第二代唱机是从 1985 年进入市场的模拟立体声电唱盘。此类产品使用压电陶瓷拾音头， 后又升级使用动磁拾音头，一改以往金属面板，采用全塑结构，唱机质量大大提高。唱盘与收录 机的完美组合，形成众多款式的组合音响，让市场红火了几年。

1991 年，作为我国唱机的第三代产品——激光唱机闪亮登场，从此，人们摆脱了模拟唱机 时代，进入了数字技术新时代。激光唱机又称 CD 唱机，是用来播放激光唱片的设备，它是融激 光技术、精密机械技术、微处理器技术和大规模集成电路技术为一体的高档音响设备。由于“激 光”的英文 LASER 其音译为“镭射”因此也有人称激光唱机为镭射唱机。

### 四、组合音响

组合音响是音频设备和系统的简称，一般是指收、录、放、唱功能齐全的家用高保真（Hi-Fi）立体声重放系统 又称为“家庭音乐中心”。从结构上看 组合音响一般分为整体式和分体式 两大类 如图 1-1 所示。

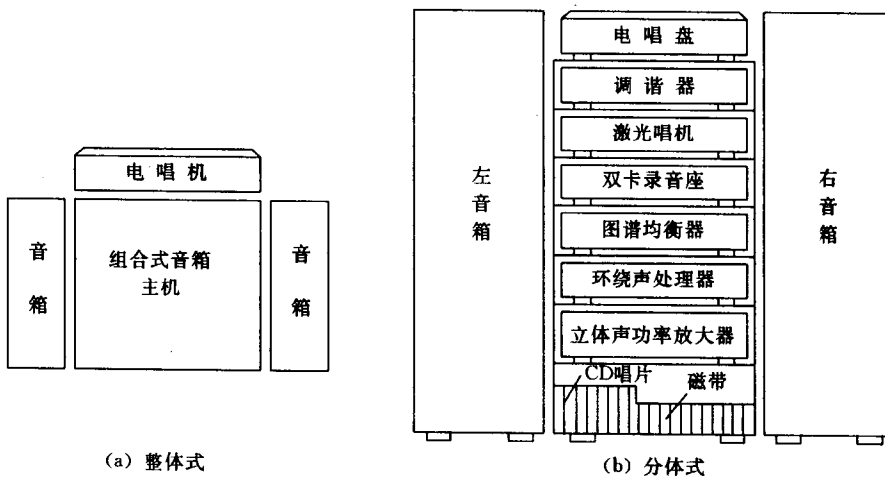


图 1-1 组合音响结构

近年来，由于影碟机（VCD/DVD）、大屏幕彩色电视机的普及，家庭影院成为人们的首选选择，分体式组合音响逐渐退出市场，整体式组合音响也向台式演化。

## 五、AV 功放

20 世纪 80 年代初，CD 唱机的出现，又给功放带来了发展机遇，并开始从使用杜比降噪技术发展到了杜比定向环绕声，使功放机技术指标大大提高了一步。随着影碟机的迅速崛起，AV 功放逢时而生，将影碟机、大屏幕彩色电视机与 AV 功放及音箱组合一起形成了“家庭影院”的概念如图 1-2 所示。

其间，一种 SRS 虚拟环绕声技术（后面将专门介绍）也被引入 AV 功放产品。1999 年，DVD 兴起，企业又把杜比 AC-3 和 DTS 后面将专门介绍）等数字解码技术内置于 AV 功率放大器。目前，我国的 AV 功放产品，无论是外观工艺，还是技术性能及听音效果，基本上可以和国外同类产品相媲美，而年销量也连年保持在 300 万台（套）左右。

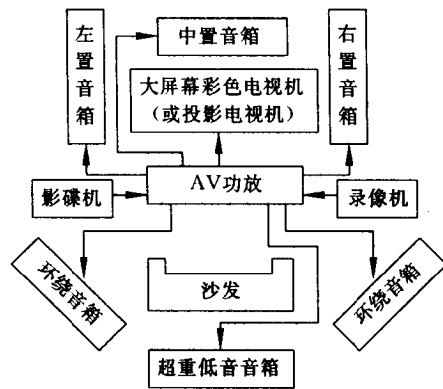


图 1-2 家庭影院中的 AV 功放

## 六、关键部件

### 1. 卡座机心

我国的卡座机心的生产是从 1982 年开始的，从普通初级型的单卡卡座，发展到双卡连体卡座。1983 年实现年产 321 万套，1985 年突破 1000 万套大关，1994 年跨越亿套，多年来卡座机心 80% 以上出口国外。

### 2. 磁头

磁头生产在我国是从 20 世纪 80 年代初期开始的，1984 年磁头生产达到 2700 万只规模，1990 年上升到年产 1 亿只以上，1994 年攀上年产 2.26 亿只高峰，至今一直保持在此规模上。值得一提的是，从 20 世纪 80 年代中期开始，我国生产的磁头 60% 以上出口到东南亚等地，近年来出口比例达到 80% 以上，成为一个外向型产业。

### 3. 影碟机机心

影碟机机心产量每年在 6000 万套左右（含独资和合资企业产量）。尽管世界上 60%~70% 的影碟机光学头在中国组装生产，但都是在做外加工，没有自主知识产权。关键的伺服电路和解码电路，目前仍依赖进口，所有这些都是制约和困扰我国影碟机产业发展的瓶颈。

### 4. 音箱

目前，中国已拥有大大小小的音箱厂上千家，扬声器部件生产企业上万家，每年可生产扬声器约 10 亿只，成为世界上扬声器最大的生产国和销售国。

## 第二节 声波与听觉的基本特性

欲研究声音的收、录、放、唱原理，应先对声波的基本特性及人耳听觉的基本特性等声学问

题作一些必要的介绍。

## 一、声波的基本特性

我们每一个人对声音都很熟悉，而声音就是通过声波来传送的。声音由物体振动产生，产生声音的振动物体称为声源。声音以波的形式传播，称为声波。下面将简要介绍声波的基本特性。

### 1. 声压和声压级

当声波在空气中传播时，由于空气发生周期性的膨胀和压缩，使空气压强也出现周期性的减小和增大，这个变化的压强与无声时的空气压强的差值称为声压，用  $P$  表示，它的单位是帕斯卡，简称帕，用 Pa 表示。声压的大小反映了声波的强弱。

对于 1kHz 的声音信号，人耳能感觉到的最低声压为  $P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ ，电声工作者把这一声压称为声压级的 0dB（分贝）。

由于人耳能听闻的声压范围很大，可由  $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$  到  $2 \times 10^2 \text{Pa}$  相差  $10^7$  倍，对于如此大范围的变化，计算上很不方便，因此采用声压级来表示声压就方便多了。人们把某一声音的声压  $P$  与人耳感觉到的最低声压  $P_0$  之比值的对数乘以 20 称为声压级，用  $L$  表示，它的单位为 dB（分贝），即有

$$L = 20 \lg(P/P_0)$$

由于人耳对声音强度的接受不是与强度成正比，而是与声音强度变化的对数成正比。所以，用对数来计量声压级则更接近于人耳的主观特性。

表 1-1 给出了各种场合声音所对应的声压级。

表 1-1 常见场合声音的声压级

常见场合声音	声压级	常见场合声音	声压级
听觉阈	0dB	交响音乐会	80dB
自来水滴声	20dB	雷声	100dB
人讲话声音	40dB	飞机发动机(5m)	120dB
汽车喇叭声(10m)	60dB	痛觉阈	140dB

### 2. 频率

人们可以听到的声波频率范围是 20Hz~20kHz，这一频率范围又称为音频频率范围。当然这只是一个大概的范围，实际上每一个人听到的频率范围并不相同。一般来讲，青年人听到的频率范围要比老年人听到的频率范围宽，这是因为随着年龄的增长，人耳对高频声音的听力会逐渐降低。例如，50 岁左右的人，最高可听到的频率约为 13kHz，而 60 岁以上的人，很少能听到 8kHz 以上的高音。

20Hz 以下的声波称为次声波，20kHz 以上的声波称为超声波。对于次声波与超声波，人耳都听不见，其响度几乎为零。

声音可以是单频率的纯音，但是绝大多数声音都是由多个频率成分组成的复音。日常生活中遇到的语言、音乐或噪声大多数是复音。其实，任何复杂的声音，都可以看做是由几个或多个频率和振幅都不相同的声波组成的，其中频率最低的称为基频声波，其余的称为谐频声波，谐频均为基频的整数倍。

对于语言，一般男子声波的基频为 210Hz 谐频达 7kHz。女子声波的基频为 320Hz 谐频达 9kHz

对于声乐，一般男低音的基频为 65~340Hz 男高音的基频为 128~480Hz 女低音的基频为 170~630Hz 女高音的基频为 240~1150Hz。

对于乐器，以钢琴为例，最低基频达 27Hz 最高基频达 4136Hz 谐频达 16kHz。

声乐与乐器的基频特性如图 1-3 所示。

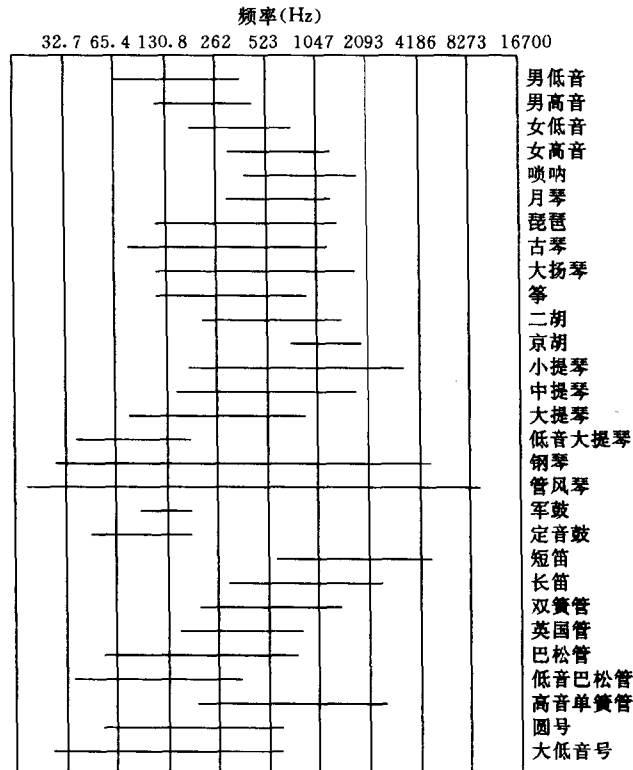


图 1-3 声乐与乐器的基频特性

### 3. 声速与波长

声波在单位时间内传播的距离称为声速，常用符号  $C$  表示 单位是  $m/s$ 。声速只与传播的媒质有关，而与声音的强弱及频率无关。例如：在常温空气中，声音的传播速度约为  $344m/s$ 。随着温度的升高，声速也略有增加。

声波振动一周所传播的距离称为波长，常用符号  $\lambda$  表示 单位是  $m$ 。声波的波长、声速、频率三者之间的关系为

$$\lambda = C/f$$

式中  $f$  为声波的频率 单位是  $Hz$ 。由此可见 频率越高 波长越短。例如 在常温空气中 频率为  $100Hz$  的声波 其波长为  $3.44m$  频率为  $1kHz$  的声波 其波长为  $0.344m$ 。

### 二、听觉的基本特性

所谓听觉就是指人耳对声音的主观反映。任何复杂的声音，对于人耳的感觉来说，可用声

音三要素来描述。声音三要素是指响度、音调和音色，与响度、音调和音色相对的物理量分别是声波的强度、频率和波形（频谱）。此外，人耳还有其听觉阈、痛觉阈、掩蔽效应及哈斯延时效应等特性。

### 1. 响度

响度俗称音量，是人耳对声音强弱的主观反映。响度与声波的振幅并不完全等同，由于人耳的可听频率范围是 20Hz~20kHz，在可听频率范围以外，无论声波的振幅多大，人主观感觉的响度始终为零，因此响度与声波的频率也有关。

描述等响度条件下声压级与频率的关系曲线称为等响度曲线，如图 1-4 所示。图中横坐标表示不同频率的纯音声波，纵坐标表示声波的振幅大小（声压级）。在同一条等响度曲线上的不同频率、不同声压级的纯音声波，给人的响度感觉是一样的。

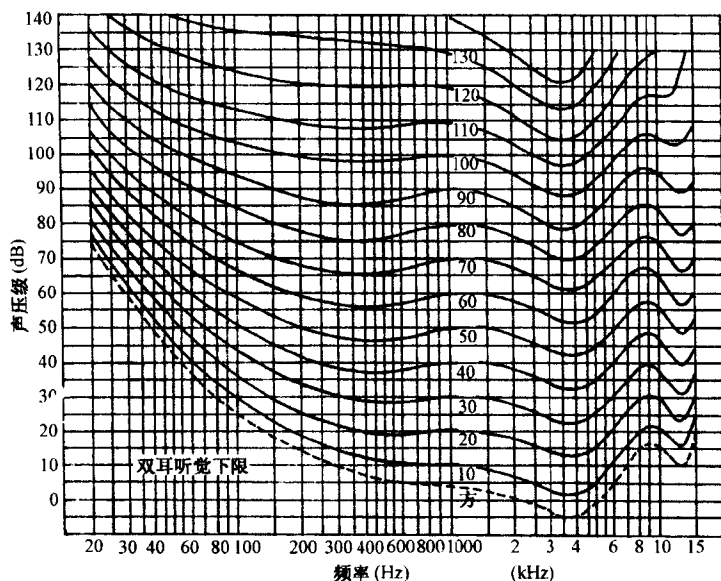


图 1-4 等响度曲线

等响度曲线以 1kHz 的纯音为声源，先让听音的人群以 1kHz 的声音的某声压级时的响度为基准，用其他频率的声音与之相比较，逐渐改变声压级，直到听上去与 1kHz 的基准响度相同为止，然后将各个频率的声压级逐点相连，成为一条等响曲线，并在 1kHz 处标注一个该曲线响度级的数字，其单位为方 (phon)。

在图 1-4 的曲线中，每一条曲线上不同频率的声压级是不同的，但人耳响度的感觉却是一样的。声压级越高，等响度曲线越平直，这表明对于高声压级的声音，若振幅相同而频率不同，则响度感觉变化不大。但随着声压级的降低，听觉频响变坏，曲线弯曲程度增大，表明响度与频率关系甚大，人耳对高、低音的听觉灵敏度降低，而对 3~4kHz 的声音的听觉最灵敏。

由于人耳的上述听觉特点，致使人们在欣赏音乐时，在小音量情况下，对节目的高音和低音感知欠灵敏，听音时总感到低音不够丰满，高音不够明亮。为了弥补人耳的上述不足，保持原有高、低音的响度平衡，在音响电路中通常设立响度控制器，用来在较小音量时提升低音和高音信号的幅度。

## 2. 音调

音调是人耳对声音调子高低的主观评价尺度。音调的高低主要取决于频率，频率越高，音调越尖锐，频率越低，音调越低沉。在广播系统，20~150Hz 称为低音，150Hz~1kHz 称为中低音，1~5kHz 称为中高音，5~20kHz 称为高音。

人耳对音调的感受不是线性的，而是对数关系。设  $I$  为人耳感受到的音调，则感受到的音调与频率的关系为

$$I = K \lg(f_2/f_1)$$

式中  $K$  为常数。此式说明，当声音的频率变化很大时，人耳并不觉得变化很大。所以人们不直接用频率，而是用频率的比值的对数来表达音调。

当两个信号的频率相差一倍，即  $f_2/f_1=2$  时，在音乐声学中，人们认为  $f_2$  与  $f_1$  的音调相差一个倍频程，也就是相当八度音阶。例如，C 调音符的  $\dot{6}$  相当于基频为 440Hz，而音符  $\hat{6}$  相当于 880Hz，音符  $\hat{\hat{6}}$  则相当于 1760Hz。

## 3. 音色

音色即声音的特色。每一个人，每一种乐器发出的声音都有自己的特色。例如，钢琴雄浑，短笛激越。

音色是由所发出声音的频谱的结构决定的。虽然声音是物体振动的产物，但不同的声音其振动的构成是各不相同的。绝大多数声音都不是由简单的振动构成，而是由一系列频率和振幅都不相同的简单振动复合而成。如把声振动按其简单频率构成分解开来，便形成这个声音的频谱。在频谱中，把最低振动频率称为基频，除了基本振动外，还有许多附加频率的振动，它们都是基本振动频率的整数倍，称之为谐频，在音乐词汇中称为泛音。这些谐频的组成比例的差异，就形成不同的音色。

图 1-5(a) 所示为钢琴弹奏 440Hz 音阶时的频谱，图中的竖线称为这个声音的频谱，每一条谱线代表一个频率的振动，谱线的高度代表该振动的强度。显然，该声音的基频为 440Hz，另外还有 15 种谐频。音调由基频决定，音色由谐频的结构决定。图 1-5(b) 为同一音阶黑管的频谱，这个频谱的基频与钢琴的基频一样，所以它们是同一个音阶，但是它的谐频与钢琴的谐频明显不同，所以黑管的音色与钢琴的音色有很大的差异。

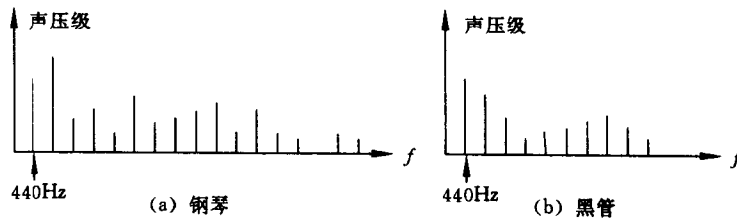


图 1-5 钢琴、黑管声音的频谱

在音响设备中，在对声音信号进行放大等处理时，若对音频信号各频率成分的放大量不均匀，就会引起音色变化，这又称为频率失真。

## 4. 听觉阈与痛觉阈

人耳刚能听到各频率声音的最低声压级称为听觉阈值，听觉阈值随着声音的频率变化而

变化,对于 1kHz 的声音,听觉阈值为 0dB。人耳对于中频段 1~3kHz 的声音最为灵敏,对高、低频段的声音,特别是低频段的声音则比较迟钝。

当声音太大时,人们会感到难受,会产生疼痛感觉。人耳所能承受的各频率声音的最大声压级称为痛觉阈值,痛觉阈值也随着声音的频率变化而变化。对于 1kHz 痛觉阈为 140dB。

如图 1-6 所示,根据听觉阈值与频率的关系绘出的曲线称为听阈曲线,根据痛觉阈值与频率的关系绘出的曲线称为痛阈曲线。

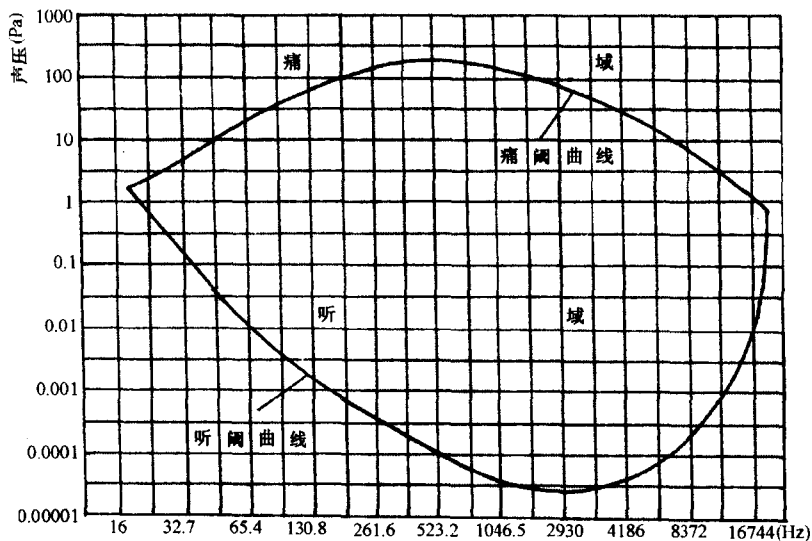


图 1-6 听阈曲线与痛阈曲线

### 5. 掩蔽效应

当同时存在两种声音,而一种声音远比另一种声音响亮时,人们就只能听到那种响亮一些的声音,而察觉不到另一种声音的存在,这一现象称为声音的掩蔽效应。

听觉的掩蔽效应在音响技术中得到了广泛的应用。例如:人们为了减轻和消除信号中的无用成分的影响,就想方设法提高有用信号的幅度,衰减无用信号的幅度,造成两者在声压级上的巨大差异,从而产生掩蔽效应,这样人们就听不到信号中的无用成分了。音响中的降噪电路就是根据掩蔽效应而设计的。

### 6. 哈斯延时效应

哈斯的延时试验表明,当两个强度相等,而其中一个经过延时的声音,它们先后传到耳朵时,如果延时量在 3~30ms 以内,则听觉上将感觉到声音似乎仅来自未经延时的声源。当延时量在 30~50ms 范围时,则两个声源都能感觉到,但仍觉得声音来自未经延时的声源。只有当延时量超出 50ms 时,滞后声才成为前一声源的清晰回声,这种效应称为延时效应。

## 第三节 立体声基本原理

### 一、什么是立体声

立体声,顾名思义,即具有立体感的声音。这个立体感就是指人耳对声源的方向和位置的

感觉，即方位感。

我们生活的自然界，是一个立体声自然界。各种声源以立体的形式分布在我们的周围，它们发出的声音的方位对于听者的耳朵来说都是立体的，因而我们日常听到的声音都是立体声，称为自然界中的立体声。

本书所讨论的立体声，主要是电声立体声系统，即利用电子技术的方法，实现立体声声音的录制、传输与重放。

## 二、双耳效应

自然界的声源是立体分布的，人类具有感受声音立体特性的自然本领。虽然目前尚未了解人类这种自然本领的全部机理，但双耳效应可以作出初步解释。由于人类是用两只耳朵来听声音的，通过声音到达两耳的时间差、声强差、相位差及音色差来进行声像定位的效应称为双耳效应。

### 1. 声强差 $\Delta p$

人的双耳位于头颅的两侧，虽然相距很近，但如当某一声音从人的左侧传来时，声音必然先到达左耳，然后绕过头颅到达右耳，显然左耳听到的声强将大于右耳听到的声强，即两耳听到的声音将产生声强差  $\Delta p$ 。当声源在两耳连线位置上时，某些频率的声强差将达到 20dB。

### 2. 时间差 $\Delta t$

声波在空气中传播需要时间，如当某声音从左侧传来时，由于声源距双耳的距离不同，所以声音传到双耳所需的时间也不同，故听者会感觉到声音到达双耳的时间差  $\Delta t$ 。当声源在两耳连线上时，时间差  $\Delta t$  约为 0.62ms。

### 3. 音色差 $\Delta f$

音色差是指双耳听音时感觉到到达两耳的声波的频率组成的差异。当声波波长大于障碍物尺寸时，声波遇到障碍物会发生绕射现象。而且波长越短，其绕射能力越差，衰减也越大。由于人的两耳之间平均距离在 16.25~17.5cm 之间，正好是 800~1000Hz 声波波长的一半，因而对于频率高于 1000Hz 的声波，其绕射能力差，衰减大。这样，当某声音从左侧传过来时，声音中高频成分因受头颅遮蔽而不能绕射到右耳，造成到达左耳和右耳的声波的频率组成有所不同，使听者感觉到音色差  $\Delta f$ 。

### 4. 相位差 $\Delta \varphi$

由于声源距双耳的距离不同，所以声音到达双耳的时间不同，时间差必伴随着相位差  $\Delta \varphi$  产生  $\Delta \varphi = \omega \times \Delta t$ 。式中  $\omega$  是声波的角频率。由式中可知，时间差  $\Delta t$  越大，相位差  $\Delta \varphi$  也越大。若声波频率很高，相位差  $\Delta \varphi$  超过  $360^\circ$  时，则一般无法判别相位是超前还是落后，这称为“混乱相位差”，失去了对声源的定位价值。因而相位差  $\Delta \varphi$  定位只对低频有用。

双耳虽然根据强度差、时间差、音色差和相位差来对声源进行定位，但强度差是高音定位的主要依据，相位差是低音定位的主要依据，瞬态声借助于时间差定位更准确，非纯音由音色差定位更容易。

另外，耳壳效应对声像定位也有辅助作用。

## 三、双扬声器对声像的定位

在实际立体声广播系统中，最普通的是双声道立体声，它采用双扬声器重放左、右声道

声音。

### 1. 双扬声器放音实验（一）

双扬声器放音实验一 如图 1-7 所示，聆听者站在左、右扬声器的中垂线上，左、右扬声器发音内容相同。

当两扬声器发出的声音强度相等时，聆听者将感觉不出有两个声源，等效声源 S(声像)位于两个扬声器之间，声像的方位角  $\alpha=0^\circ$ 。

当两扬声器声强差  $\Delta p=15\text{dB}$  时，聆听者感觉到声像固定在较响扬声器上，声像方位角  $\alpha=\beta$ 。

当两扬声器有声强差  $\Delta p$  且相位差为  $180^\circ$  时，聆听者会感觉到声像定位在两扬声器外侧，这称为“界外立体声”它使舞台展宽。

### 2. 双扬声器放音实验（二）

双扬声器放音实验（二）如图 1-8 所示，将一个扬声器后移，但保持两扬声器到达聆听者双耳的强度相等，两扬声器发音内容相等，此时将产生时间差  $\Delta t$ 。

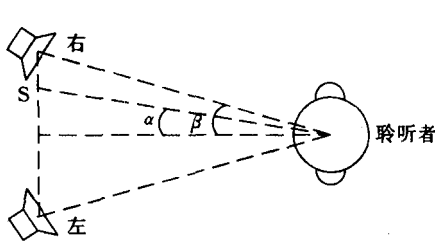


图 1-7 双扬声器放音实验（一）

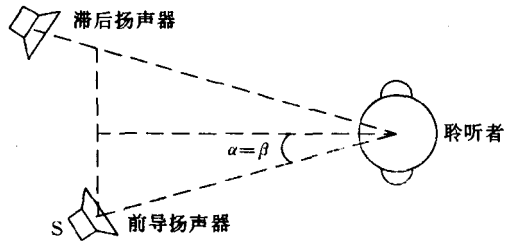


图 1-8 双扬声器放音实验（二）

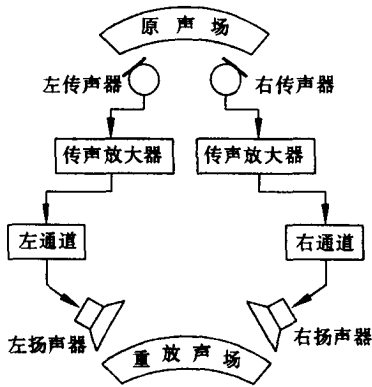


图 1-9 双通道立体声示意图

当  $3\text{ms}<\Delta t<30\text{ms}$  时，聆听者感觉到声像 S 位置移向先传来声音的扬声器上，这称为声音的优先效应，后移扬声器好像不存在。

当  $30\text{ms}<\Delta t<50\text{ms}$  时，聆听者开始识别出滞后声源的存在，但声像 S 仍定位于前导扬声器，滞后扬声器起着提高丰满度的作用。

当  $\Delta t>50\text{ms}$  时，聆听者感受到一个清晰回音。当  $\Delta t$  过大时，声音的清晰度将受到破坏。

由以上两个双扬声器放音实验可知，要实现立体声的重放，必须采用左、右两只或两只以上的扬声器，改变这些扬声器的发声差异，才能获得所需声像位置。现代立体声重放技术就是建立在这一原理上的。例如，我们用

左、右两只传声器模仿聆听者去拾取一个实际音乐厅的演奏声音，如图 1-9 所示，再将传声器拾取的左、右音频信号分别传送给两个通道进行放大，最后由左、右两个扬声器重放，就能获得十分逼真的立体声效果。

理论上通道数越多，重放声音的方位感越强。但是，由于技术和经济等原因，采用太多的通道数是不现实的。在电影院中，有采用五通道或七通道立体声放音系统的。在家庭中，通常只采用双通道，但最近也有采用四通道的，分别称为双通道立体声和四通道立体声。

#### 四、立体声声音的录制

立体声声音常录制在磁带上，也可以录制在光盘上。图 1-10 为磁带单声道录制和重放示意图。显然，这种单声道录制和重放形式，扬声器发出的是点声源，聆听者没有声源分布立体感，即使使用多只扬声器，也仅仅是扩大声音辐射面。

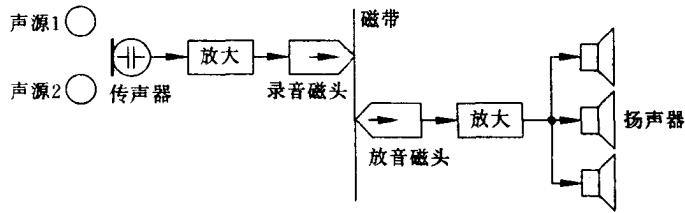


图 1-10 磁带单声道录制和重放示意图

图 1-11 为磁带双声道录制和重放示意图。对于声源 1，右传声器输出较大，左传声器输出较小。对于声源 2，左传声器输出较大，右传声器输出较小。放音时，左、右两声道信号经放大后，分别由左、右两扬声器实现重放，聆听者根据两扬声器声音的声强差、时间差、相位差和音色差，就能判别出声像位置，使人具有立体感和再现临场感。

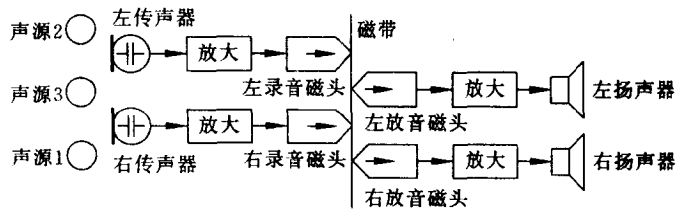


图 1-11 磁带双声道录制和重放示意图

### 第四节 音响主要技术指标

在形形色色的音响设备中，放音效果用一系列技术指标来衡量。用户和维修人员都应对音响系统的技术指标有所了解。下面分别介绍音响设备的部分主要技术指标。

#### 一、频率特性

频率特性又称为频率响应，是指音响设备能够重放的声音频率范围。频率范围越宽，在该频率范围内振幅偏移量越小，则频率特性越好。在理想情况下，当可听频率范围振幅偏差程度在  $\pm 0.5\text{dB}$  之内时，这时的频率特性可称为达到了最佳状态。一般音响的各个组成部分都很难达到这一最佳状态，而且各组成部分的频率特性都存在着差异。

常见音响频率特性如表 1-2 所示。从表中可知，AM 收音机的频率特性最差，激光唱机的频率特性最好。

表 1-2 常见音响频率特性

音响类型		频率特性
便携一级 AM 收音机		150Hz~4kHz
FM 立体声收音机		30Hz~15kHz(±3dB)
激光唱机		4Hz~20kHz(±0.5dB)
盒式录音机 (录放全过程)	一级机	63Hz~10kHz(±1dB)
	二级机	125Hz~6.3kHz(±1dB)
	三级机	250Hz~3.15kHz(±1dB)
功放	一级机	20Hz~20kHz
	二级机	40Hz~16kHz(±1dB)
	三级机	80Hz~8kHz(±2dB)
	四级机	150Hz~5kHz(±2dB)

## 二、谐波失真

谐波失真又称谐波畸变。谐波是指经放音设备重放后的声音比原有声源信号多出来的额外频率成分。它是由放音设备的非线性引起的。这个指标用新增加的谐波成分总和的有效值与原有信号有效值的百分比来表达，因而又称为总谐波失真。

如我国音频功率放大器的谐波失真，一级机为 $\leq 0.5\%$ ，二级机为 $\leq 2\%$ ，三级机为 $\leq 5\%$ ，四级机为 $\leq 7\%$ 。

## 三、信号噪声比

信号(S)噪声(N)比简称信噪比，记为 $S/N$ 。它是指放大器输出端的信号功率 $P_s$ 或电压 $U_s$ 与噪声功率 $P_N$ 或电压 $U_N$ 的比值。通常用dB(分贝)值表示：

$$S/N = 10\lg(P_s/P_N)(\text{dB}) = 20\lg(U_s/U_N)(\text{dB})$$

信噪比越大，表明混在信号里的噪声相对越小，放音音质也就越好。目前流行的激光唱机其信噪比高达90dB以上，而盒式录音机的信噪比只有40dB左右。

## 四、动态范围

动态范围是指最强声音与最弱声音的强度差，单位用dB表示。如交响乐最强声音为110dB，最弱声音为40dB，则交响乐动态范围为70dB。

一般语言的动态范围为20~40dB，歌曲与音乐的动态范围为40~60dB，交响乐的动态范围为70~120dB。

要求音频放大器的动态范围必须大于语言和音乐的动态范围。放大器的动态范围上限受到非线性失真的限制，动态范围下限受到噪声大小的限制。一般音频放大器，做到90dB的动态范围并不难。

## 五、声道分离度

声道分离度又称左、右声道串音衰减，它反映播放立体声时，左、右声道信号相互干扰影响

的程度。若声道分离不良，则会影响聆听者对立体声场的方位感，减弱立体声音乐的立体感。

如盒式录音机的双声道放音的声道分离度，一级机为 60dB 二级机为 55dB 三级机为 50dB 四级机为 40dB；CD 唱机的声道分离度大于 90dB。

## 六、抖晃率

抖晃率指因声音载体（磁带、模拟唱片及激光唱片等）运动速度的波动变化，使重放时音调发生瞬时变化，听起来觉得声音在颤抖晃动。其实质是声音载体线速度的瞬时变化对重放声音信号产生寄生频率调制的结果。已调音频信号的频偏与声音载体所载音频信号频率的百分比叫抖晃率 即

$$\text{抖晃率} = (\Delta f / f_0) \times 100\%$$

抖晃率是衡量放音卡座和激光唱机的电气性能的参数。抖晃率越小，表明其电气性能越好。如 盒式录音机的抖晃率，一级机为  $\pm 0.15\%$  二级机为  $\pm 0.3\%$  三级机为  $\pm 0.5\%$  四级机为  $\pm 0.6\%$ 。

## 七、灵敏度

灵敏度是收音机的主要技术指标，用来表示收音机接收微弱信号的能力。收音机的灵敏度越高，则接收微弱信号的能力越强，接收到的电台就越多。

当收音机的输出端满足一定的信噪比和输出一定的功率时，天线上所需的最小感应电动势称为收音机的灵敏度。这一电动势越小，表示收音机的灵敏度越高。一般收音机的灵敏度约为几十到几百  $\mu\text{V}$ 。还有一种表示灵敏度的方法，叫做场强灵敏度，即用天线端的电场强度表示 单位为  $\mu\text{V}/\text{m}$ 。

收音机的灵敏度由收音机的整机增益决定，尤其是收音机中频放大电路的增益。但并不是提高增益就能无限制地提高收音机的灵敏度，因为还要考虑到信噪比符合要求。

## 八、选择性

选择性也是收音机的主要技术指标，它是指收音机选择有用信号而抑制无用信号的能力。因为收音机天线接收到的电台信号很多，把欲收听的电台信号选择出来，把不需要收听的电台信号及其他干扰抑制掉，这就是收音机的选择性。

选择性表示方法为：在输出达到标称输出功率的条件下，偏调的干扰输入电平与调谐信号输入电平之比 用 dB（分贝）表示。分贝值越大，表示选择性越好。如国产 C 类调幅收音机 偏调  $\pm 9\text{kHz}$  的单信号其选择性在 10dB 以上 ;B 类机在 16dB,A 类机达 30dB。

## 九、输出功率

输出功率主要是用来衡量末级功放的带负载能力的技术指标。音响系统要求每声道有足够大的功率储备余量。输出功率有最大输出功率、不失真输出功率和额定输出功率等。

### 1. 最大输出功率

最大输出功率是指不考虑失真时，放大器能够输出的最大功率。该项技术指标的实用价值不大。

### 2. 不失真输出功率

不失真输出功率是指非线性失真不大于 10% 的情况下，放大器实际能够输出的功率。该

项技术指标常用。

### 3. 额定输出功率

额定输出功率又称标称功率，它是指应该达到最低限度（由厂家自定的失真度，一般为1%~3%）的不失真输出功率。

应该注意的是，不同厂家对其产品的输出功率的称呼有所不同，特别是一些进口设备，其标准与测试条件也有所不同。近年来，还常见到峰值功率和 PMPO 功率的称呼。由于正弦波的峰值电压为其有效值的  $\sqrt{2}$  倍，所以峰值功率为交流有效值功率的 2 倍。PMPO 功率是指峰-峰值音乐功率，通常为峰值功率的 4 倍。

## 思考与练习

1. 声波的基本特性有哪些？
2. 什么是声音三要素？声音三要素分别由什么因素决定？
3. 什么是立体声？音响系统如何正确重现立体声？
4. 什么是双耳效应？
5. 简单解释下列音响技术指标的含义：频率特性，谐波失真，信噪比和动态范围。

# 第二章 收音机

## 第一节 音频信号的无线电发送

人耳能听到的声音频率 音频 约在 20Hz 到 20kHz 的范围内。声音的强度随传播距离的增加迅速衰减。要想将声音信息传播到很远的地方，采用无线电广播是常见的一种形式。

### 一、无线电波

无线电波是电磁波中的一种。众所周知，变化的磁场能够在其周围空间产生变化的电场；同样，变化的电场也能产生变化的磁场。这样交替产生的变化的电场和磁场，由发生的区域向空间传播的形式就是电磁波。

#### 1. 无线电波波段的划分

一般地说 频率从几 kHz 到几 THz 的电磁波都称为无线电波。而根据无线电波的频率（波长）、传播规律及应用，可以把无线电波分成若干波段。这种划分主要是根据电波的传播特性来进行的，电波的传播特性决定了各个波段的应用范围，如表 2-1 所示。

表 2-1 无线电波波段的划分

频率范围	频段名称	用途
30Hz~300Hz	超低频(SLF)	音频、电话、数据传输和长距离航海时间标准
300Hz~3kHz	声频(VF)	
3kHz~30kHz	甚低频(VLF)	
30kHz~300kHz	低频(LF)	航海设备和无线电信标
300kHz~3MHz	中频(MF)	调幅广播、民间保护和业余无线电
3MHz~30MHz	高频(HF)	短波广播、移动通信、军用通信和业余无线电
30MHz~300MHz	甚高频(VHF)	电视、调频广播、空中交通管制和业余无线电
300MHz~3GHz	特高频(UHF)	电视、遥测、雷达和业余无线电
3GHz~30GHz	超高频(SHZ)	雷达、卫星和空间通信和业余无线电
30GHz~300GHz	极高频(EHZ)	无线电天文、雷达、着陆设备和业余无线电
300GHz~3THz	超极高频	卫星广播与通信

#### 2. 无线电波的传播

电磁波的波长不同，其传播特性也不同。无线电波的传播方式有地波、天波和空间波。如图 2-1 所示。

(i) 地波：沿地球表面向外传播的无线电波叫做地波。地波主要以沿着地球表面绕射方式

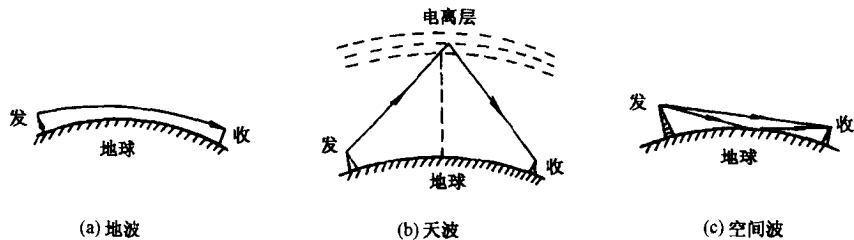


图 2-1 电波的传播途径示意图

来传播，波长越长绕射能力就越强。同时地球是个导体，当无线电波以地波的形式传播时，地球对应的表面就会因电磁感应产生电流，从而消耗能量。并且，能量的损耗随频率的升高而增大。因此从能量的损耗来讲，中、长波较适于以地波形式传播。

(ii) 天波：依靠电离层的反射来传播的无线电波叫做天波。在地球表面的大气层中，在距地表 60km 到 1000km 处有电离层。一方面它可以反射无线电波，且波长越长电离层反射能力越小，另一方面，它可以吸收无线电波，波长越短，电离层吸收能力越小。因此短波多采取天波形式传播。但天波受外界影响较大，它与电波进入电离层的角度和太阳辐射强度等因素有关，所以短波收音机夜晚接收到的电台信号比白天多。

(iii) 空间波：沿着直线传播的无线电波叫做空间波。电视和调频广播就是以空间波方式来传播的。空间波受大气干扰小，接收到的信号较强而且较稳定，但传播距离大致限制在视距范围之内。

## 二、无线电广播的发射原理

无线电广播主要由话筒、高频振荡器、调制器、放大器和发射天线组成，其框图与各部分的波形如图 2-2 所示。

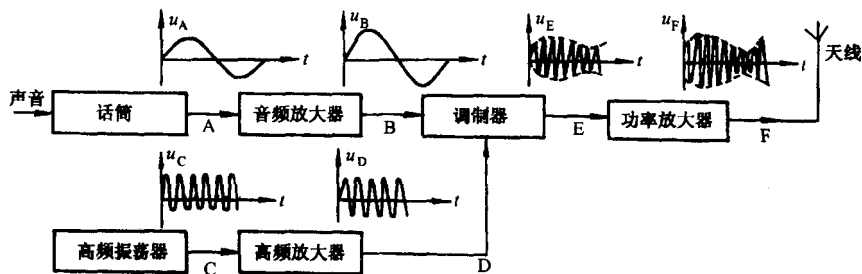


图 2-2 无线电广播发射框图和波形图

语言与音乐的声波，使话筒内的弹簧片产生机械振动，通过电磁感应的作用，将机械振动转换为相应的音频电流或电压，经音频放大器放大后去调制高频载波，从而将高频载波变成高频已调波，高频已调波经高频功率放大器放大后，由天线发射出去。

## 三、无线电广播的接收原理

无线电广播接收机的种类较多，最简单的接收机至少由输入调谐回路、解调器、音频放大器和扬声器等组成，其框图与各部分的波形图如图 2-3 所示。

输入调谐回路的作用是选择所要收听的电台。输入回路是个谐振电路，利用改变电容器的

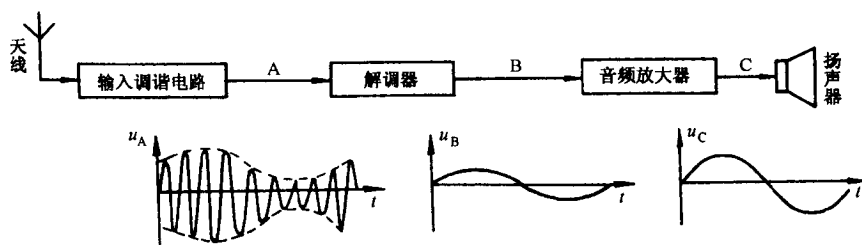


图 2-3 最简单接收机框图与各部分波形图

电容量（或改变电感线圈的电感量）改变输入回路的固有频率，使它同所要收听的某个电台信号发生谐振，这样就达到了选择电台的目的。

解调器的作用是从已调波信号中还原出音频信号。这种从已调波中检出音频信号的过程称为解调或检波。

音频放大器的作用是放大检波出来的音频信号，再由耳机或扬声器还原成声音。

扬声器的作用是将按音频信号变化的电流或电压变为相应的机械振动，转化为声音。

## 第二节 调幅收音机

调幅收音机又称 AM 收音机，它有中波和短波两个波段。根据国家标准（GB9374—87）规定，中波波段的频率范围为 626.5~1606.5kHz，短波波段的频率范围为 2.3~26.1MHz。

### 一、AM 收音机电路的组成与工作原理

图 2-4 是超外差 AM 收音机的电路组成框图。

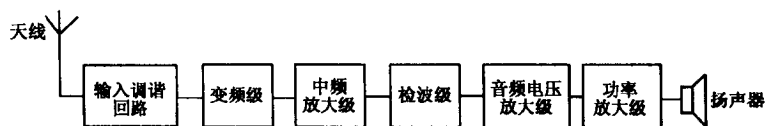


图 2-4 超外差 AM 收音机电路组成框图

AM 收音机一般由接收天线、输入调谐回路、变频级、中频放大（有时简称中放）级、检波级、低频电压放大（有时简称低放）级和功率放大（有时简称功放）级组成。

接收天线将广播电台播放的高频（载频）信号接收下来，经输入调谐回路选频后送往变频级，与变频级内本机振荡器（简称本振）产生的等幅振荡（其频率比外来高频调幅信号高出 1 个固定的中频）信号相混频，变换为频率较低的差频信号（即中频信号，其频率为 465kHz）输出。这种与外信号混合后产生差频输出信号的接收方式称为“超外差”接收方式。

差频信号只改变了载频频率，而代表音频的调制信号（包络线）不变。中频信号由变频器的选频电路选出后，送到中频放大器进行固定的中频放大（这就是超外差式电路），然后通过检波器把音频信号“检出”，送到低频电压放大级进行音频放大，去激励功率放大器，使其输出足够功率，推动扬声器发出声音。

超外差式收音机不仅灵敏度高、选择性好，而且对接收波段内信号的放大量较均匀，有着