

电子整机原理

——音响设备

目 录

第 1 章 电声基础知识	(1)
1.1 声学基础知识	(1)
1.2 听觉的基本特性	(2)
1.2.1 人耳的听觉范围	(2)
1.2.2 声音三要素	(2)
1.2.3 语言和音乐	(3)
1.2.4 听觉分辨率	(4)
1.2.5 掩蔽效应	(5)
1.3 立体声	(5)
1.3.1 双耳效应	(5)
1.3.2 双扬声器的声像定位	(6)
1.3.3 双通道立体声系统	(6)
1.3.4 室内声场与混响	(7)
1.4 电声变换基本原理	(8)
1.4.1 声电转换	(8)
1.4.2 电声转换	(8)
小结	(8)
习题一	(9)
第 2 章 收音机	(10)
2.1 无线电广播系统基础知识	(10)
2.1.1 无线电波波段的划分	(10)
2.1.2 无线电波的传播	(11)
2.1.3 无线电波的发射	(11)
2.1.4 无线电波的接收	(12)
2.1.5 收音机主要性能指标	(13)
2.2 调幅、调频广播的发射与接收	(13)
2.2.1 调幅与调幅广播	(13)
2.2.2 调频与调频广播	(14)
2.2.3 调频立体声广播	(14)
2.3 调幅超外差式收音机	(16)
2.3.1 超外差式收音机概述	(16)
2.3.2 调幅超外差式收音机工作原理	(16)
2.3.3 典型电路分析	(20)
2.4 调频立体声收音机	(22)
2.4.1 调频立体声收音机的基本组成	(22)

2.4.2	信号流程	(23)
2.4.3	调频立体声收音机电路原理	(23)
2.4.4	实用电路分析	(26)
*2.5	数字调谐系统	(29)
2.5.1	数字调谐系统概述	(29)
2.5.2	数调收音机的特点	(29)
2.5.3	数调收音机的选台方法	(29)
2.5.4	数调收音电路的工作原理	(30)
2.6	收音机的整机调测	(31)
2.6.1	调整静态工作点	(31)
2.6.2	调整中频频率	(32)
2.6.3	调整频率范围	(32)
2.6.4	统调	(32)
2.7	收音机综合故障分析与排除	(33)
2.7.1	检查故障的一般方法	(33)
2.7.2	检查故障的一般程序	(33)
	小结	(35)
	习题二	(36)
	实验一 收音机检测与调试	(36)
第 3 章	盒式磁带录音机	(38)
3.1	磁记录基础知识	(38)
3.1.1	物质的磁性及剩磁	(38)
3.1.2	磁头与盒式磁带	(38)
3.1.3	偏磁记录与消磁	(42)
3.1.4	录、放音中的各种损耗及噪声	(44)
3.2	盒式录音机电路原理	(45)
3.2.1	概述	(45)
3.2.2	集成前置放大器	(48)
3.2.3	自动选曲和电脑选曲电路	(50)
3.2.4	其他辅助电路	(53)
3.3	盒式录音机机芯	(65)
3.3.1	概述	(65)
3.3.2	录音机机芯的基本组成	(66)
3.3.3	机芯工作原理	(69)
3.4	录音机整机电路分析	(72)
3.4.1	M-905 型立体声收录机的基本组成	(73)
3.4.2	录音机部分电路工作原理	(73)
3.5	录音机的调试	(77)
3.5.1	测试仪器及连接	(77)
3.5.2	带速误差及抖晃率的测试	(78)

3.5.3	时间的测试	(78)
3.5.4	卷带力矩及压带轮压力的测试	(78)
3.5.5	录放电路的调试	(79)
小结		(81)
习题三		(81)
实验二	盒式磁带录音机检测与调试	(82)
第 4 章	CD 唱机	(83)
4.1	CD-DA 格式	(83)
4.1.1	模拟信号的数字化	(83)
4.1.2	A/D 变换与 D/A 变换	(86)
4.1.3	CD-DA 系统的记录和重放过程	(86)
4.1.4	CD-DA 系统的主要技术指标	(88)
4.2	CD 光盘的结构及制作过程	(88)
4.2.1	CD 光盘	(88)
4.2.2	CD 光盘上的信迹格式	(89)
4.2.3	CD 光盘的制作过程	(90)
*4.3	音频编码过程	(91)
4.3.1	CIRC 编码	(91)
4.3.2	PCM 调制和 EFM 调制	(94)
4.3.3	音频信号编码过程	(95)
4.4	CD 唱机的基本组成	(95)
4.4.1	CD 唱机的基本组成	(95)
4.4.2	CD 唱机的激光拾音器	(96)
*4.4.3	CD 唱机的伺服系统	(97)
4.4.4	自动功率控制 (APC) 电路、镜像检测电路及 FOK 电路	(103)
*4.4.5	数字信号处理 (DSP) 电路	(103)
*4.4.6	数字滤波器	(105)
4.4.7	数 / 模转换电路	(105)
4.5	CD 唱机的调试	(107)
4.5.1	调试内容	(107)
*4.5.2	调试方法	(108)
4.5.3	CD 唱机的检修原则	(110)
小结		(110)
习题四		(111)
实验三	CD 唱机的检测与调试	(111)
第 5 章	音频放大器	(116)
5.1	前置放大器	(116)
5.2	功率放大器	(118)
5.2.1	概述	(118)
5.2.2	常用功放电路	(120)

5.2.3	功放保护电路及特殊器件	(124)
*5.3	AV 功放	(130)
5.3.1	环绕声	(130)
5.3.2	环绕声解码器	(133)
5.3.3	AV 功率放大器产品介绍	(136)
5.4	功放的装配与调试	(137)
5.4.1	功放的装配与调试	(137)
5.4.2	故障检修	(139)
	小结	(140)
	习题五	(141)
	实验四 功率放大器的检测与调试	(142)
第 6 章	传声器、扬声器及音箱系统	(144)
*6.1	传声器	(144)
6.1.1	传声器概述	(144)
6.1.2	无线传声器	(145)
6.2	扬声器	(145)
6.2.1	扬声器的分类	(146)
6.2.2	结构与原理	(147)
6.2.3	主要技术参数	(147)
6.3	音箱	(150)
6.3.1	音箱的分类、结构与原理	(150)
6.3.2	音箱的主要技术参数	(151)
6.4	耳机	(151)
6.4.1	耳机的分类	(151)
6.4.2	耳机的结构与工作原理	(151)
6.4.3	主要技术参数	(152)
6.5	分频器	(153)
6.5.1	分频器的作用	(153)
6.5.2	分频器的种类	(153)
6.5.3	分频器工作原理	(153)
6.5.4	扬声器分频网络的组成	(154)
6.5.5	分频点的选择方法	(154)
6.5.6	扬声器分频网络中的补偿电路	(156)
6.6	音箱调试与选配	(157)
6.6.1	音箱装配	(157)
6.6.2	音箱的检测与调试	(158)
6.6.3	音箱的选用	(161)
	小结	(164)
	习题六	(164)
	实验五 电子与功率分频器	(165)

第7章 组合音响系统	(167)
7.1 概述	(167)
7.1.1 组合音响的基本组成	(167)
7.1.2 组合音响的分类	(169)
7.1.3 组合音响的主要技术指标	(170)
7.2 音响设备的选配及组装	(172)
7.2.1 音响设备的选配	(172)
7.2.2 组合音响的选购	(173)
7.2.3 音响设备的组装	(173)
7.3 组合音响的维修	(175)
7.3.1 了解故障情况	(175)
7.3.2 确定故障设备单元和部位	(175)
小结	(176)
习题七	(176)
参考文献	(177)

第 1 章 电声基础知识

1.1 声学基础知识

声音源于振动，人耳听到的声音是振动产生的声波，因此研究声音要从振动和声波开始。

1. 机械振动与机械波

机械振动是指物体做周期性的往复运动。振动物体往复运动一次所需要的时间称为周期，用字母 T 表示，单位为秒(s)。周期的倒数称为频率，用字母 f 表示，单位为赫兹(Hz)，它表示物体在单位时间内振动的次数。物体离开平衡位置的最大距离叫振幅，一般用字母 A 表示，它反映了振动的强弱。最简单的振动是简谐振动，可用以下公式表示

$$X = A \sin(2\pi f t + \phi)$$

式中 X 为瞬时位移， A 为振幅， f 为频率， $(2\pi f t + \phi)$ 为相位。

物体在振动时，会引起周围媒质的质点跟它一起进行频率相同的振动，使振动在媒质中由近及远地传播出去，这就是机械波。

2. 声波与声音

声音都是由振动引起的，但人耳只能听到 20Hz~20kHz 之间的频率。高于 20kHz 的声波称为超声波，低于 20Hz 的称为次声波。通常把引起声波的振动物体称为声源，把传递声波的物质称为传声媒质。媒质可以是气体，也可以是固体或液体；但在不同的媒质中，声波的传播速度是不同的，如声波在空气中的传播速度为 340m/s，而在水中约为 1450m/s。

一般情况下，声波是通过空气传到人耳的。声音就是声波通过空气传至人耳所引起的一种主观感觉。声音除了与声源本身有关之外，还与人的听觉特性以及声波的传播情况等因素有关。

声音的强弱是由声压的大小来表示的。声压的大小可用瞬时声压、峰值声压和有效声压来描述。人耳听到的声音响度主要与有效声压直接相关，有效声压等于瞬时声压的均方根值，所以一般所说的声压是指有效声压，用字母 p 表示，单位为帕(Pa)。1 个大气压为 10^5 Pa，而人耳最高能承受的声压大约为 20Pa，人耳能感觉到的最低声压则大约为 2×10^{-5} Pa，这个声压称为参考声压，用 p_r 表示。

人耳有一个奇怪的特点，声压增大 10 倍，声音的响度才增大 1 倍，也就是说声音的响度大体上与声压的对数值成正比，因此在声学中通常用声压级来表示声波的强弱。声压级用字母 L_p 表示，单位为分贝(dB)。它的数学表达式为

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

当用声压级来衡量声音的强弱时，人耳能感觉到的最低声压级为 0dB，能承受的最大声压级为 120dB，这两个值分别称为听阈和痛阈。

1.2 听觉的基本特性

1.2.1 人耳的听觉范围

1. 听觉的频率范围

听觉的频率范围即音频范围，通常为（20~20 000）Hz，处于该范围内的声波称为可闻声。人的听觉频率范围是有个体差异的，听觉的上限频率会随年龄的增加而减小。在听觉频率范围内，人耳对中频段（1~4）kHz 的声音最敏感，对低频段和高频段的声音则比较迟钝。对于 20Hz 以下的次声波和高于 20 000Hz 的超声波，即使强度再大，人耳也无法听到。

2. 听觉的声压范围

听觉的声压范围即听阈和痛阈。听阈是指人耳能听到的最低声压，它和声音的频率有关。例如，听力正常的青年人在 1 000Hz 频率上能听到的最低声压约为 $20\mu\text{Pa}$ ，而在 100Hz 的频率上能听到的最低声压约为 $1600\mu\text{Pa}$ 。痛阈是指人耳能承受的最高声压，当声压超过痛阈时，人耳会感到疼痛甚至失聪。痛阈与频率基本无关，大约为 $2\times 10^7\mu\text{Pa}$ 。

1.2.2 声音三要素

声音通常用三要素来描述，即声音的响度、音调和音色。由于声音三要素是人的主观感觉，所以它不但与声波的声压、频率、频谱等客观物理量有关，还与人耳的听觉特性及心理因素等有关。

1. 响度

响度俗称音量，是人耳对声波强弱的主观反映，响度不仅与声波的声压级有关，还与声波的频率有关。例如，100Hz 和 1 000Hz 的两个纯音，它们的声压级都是 60dB，但听起来却感到后者比前者响得多。

声学中一般用响度级(L_N)来衡量响度的大小，单位为方(phon)。某一频率声音的响度级的方数，等于与之同响度的 1 000Hz 纯音的声压级数。例如声压级为 50dB、频率为 100Hz 的声音听起来与声压级为 40dB、频率为 1 000Hz 的声音一样响，这个 100Hz 的声音的响度就为 40phon。可见，除了 1 000Hz 纯音的响度级数值与声压级数值相等之外，其他频率声音的响度级与声压级并不相等。

响度级、声压级、频率三者之间的关系常用等响曲线表示。图 1.1 为标准等响曲线，图中同一条曲线上的响度级方数相同，可见响度不相同同时声压并不一定不同。

从等响曲线图中可以看出：

(1) 响度级与声压级有关，同一频率的纯音，声压级提高，响度级相应增大。

(2) 响度级与频率有关，声压级相同但频率不同时，响度级不同。

(3) 图 1.1 中上方的曲线较平坦，下方的曲线变化较大。这说明在声压级很大时，强度相同的声音差不多一样响，与频率无关；但在声压级较低时，强度相同的声音随频率不同响度变化很大，其特征是对（1 000~4 000）Hz 附近的中高音感到较响，对 1 000Hz 以下的低音

或 4 000Hz 以上的高音则感到声音很轻。人耳的这一特性，对高保真音乐重放的效果影响很大，即造成音量开得较大时，能感到高音和低音均很丰满；但音量开得较小时，则会感到高音和低音明显不足。为弥补上述不足，现代音响设备中均设置等响度控制电路，用来在音量较低时对高音和低音进行适当提升，并且音量越低，提升量越大。

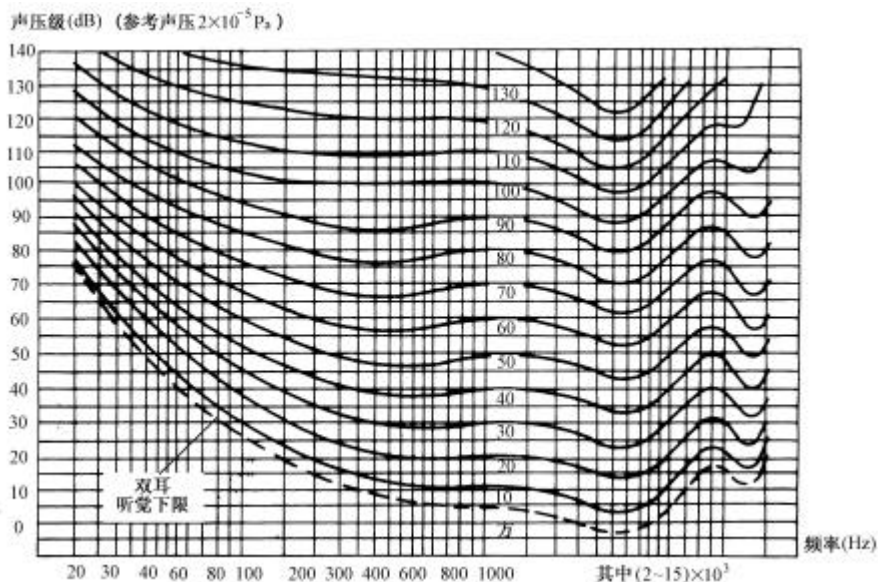


图 1.1 等响曲线

2. 音调

音调的高低主要取决于声波的基频，基频越高，音调也越高；但音调的高低并不与频率成正比，而是成对数关系。音调在音乐上相应的名称是音高。当声音强度不同时，人耳对音调高低的感受会发生变化。通常在低频段，声压级升高时会感到音调降低；在高频段则相反，声压级升高时会感到音调升高。声音持续时间的长短对音调也有影响。

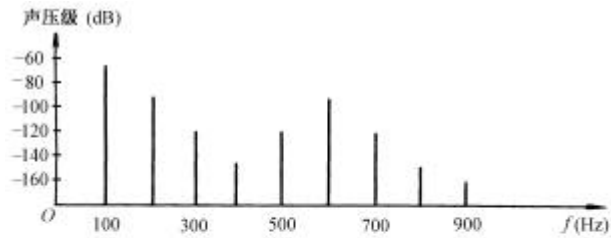
3. 音色

音色主要与声谱有关，但也受响度、基频和持续时间的影响。例如每一种乐器都有独特的频谱结构，也就具有了独特的音色。正是这种音色的差别，才能分辨出演奏同一首乐曲的不同乐器声。

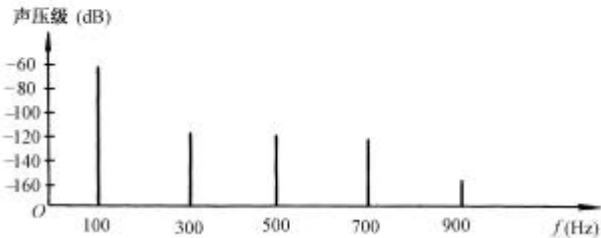
图 1.2 是钢琴和黑管演奏同一乐曲时的声谱。从图中可以看出，虽然这两种乐器发出的声音的基频都是 100Hz，即音调相同，但由于它们的频谱结构不同，其音色也就不同。在高保真放音时，为了确保音色不变，就要求音响设备具有足够的频带宽度和平坦的幅频特性。

1.2.3 语言和音乐

音响设备处理的声音主要是语言和音乐，语言和音乐由各种语音和乐音组成，语音是由人的声带振动产生的声音；乐音则是由乐器的振膜、簧片和弦等部件振动产生的声音。由于这两类声音的发声部件不同，所以它们的基频范围、动态范围等声学特性都不相同，详见表 1.1 所示。



(a) 100Hz的钢琴声谱



(b) 100Hz的黑管声谱

图 1.2 钢琴和黑管的声谱

表 1.1 语言和音乐的声学特性

名称	基频范围 (Hz)	频率范围 (Hz)	声功率 (mW)	声压级 (dB)	动态范围 (dB)
语言	130~350	150~4 000	正常谈话: 10^{-3} 大声谈话: 1	相距 1m 的平均 声压级 65~69	30~40
歌声	80~1k	100~7k			12
乐器	16~4k	30~16k	0.01~100		30~50
交响乐	能量集中范围 150~5k	30~20k	10W	相距 10m 的平均 声压级 95~105	100
听觉		20~20k	痛阈 $1W/m^2$	痛阈 120	120
Hi-Fi 立体声		20~20k		50~60	

可见，语言的频率范围比较窄，歌声的频率范围较宽，乐器的频率范围更宽。

由于语言和音乐有着不同的特性，因此对音响设备也有着不同的要求。在重放语言时，频带宽度可小些，这样可以减小高频噪声。但在重放音乐时，频带范围应达到（16~20000）Hz，至少要达（30~16000）Hz。

1.2.4 听觉分辨率

听觉分辨率是指人对声压、频率和声源方位等变化的辨别能力。

1. 响度分辨力

响度分辨力是指人耳对声压变化的分辨能力。响度分辨力与背景声压级有关。声压级在 50dB 以上时，人耳能分辨出约 1dB 的声压变化。当声压级小于 40dB 时，需变化约 3dB 才能觉察出来。响度分辨力还与声波的频率有关，通常人耳对中高音的声压级变化较为敏感，对

低音的声压级变化则比较迟钝。

2. 音调分辨力

音调分辨力是人耳对声音基频变化的分辨能力。音调分辨力与声音的声压级和频率都有关系。在声压级很大时人耳对频率变化的分辨能力会大大降低。

3. 声源方位分辨力

声源方位分辨力是指人耳对声源方位变化的辨别能力。实验证明，人耳在水平方向的方位分辨力为 3° ，在垂直方向的方位分辨力约为 $10^\circ \sim 20^\circ$ 。同样，人耳对声源方位的分辨力也与声音的强度和频率有关。

1.2.5 掩蔽效应

当人耳同时听到两个声音时，对其中一个声音的感受会因另一个声音的出现而改变，使该声音的听阈提高。当两个声音的频率接近时，较强的声音会“掩盖”较弱的声音，甚至使较弱的声音无法听到，这种现象称为人耳的掩蔽效应。掩蔽效应除了与声强有关之外，还与频率有关。低频声音能有效地掩蔽高频声音。掩蔽效应是确定音响系统信噪比指标的重要依据，也是某些降噪电路的重要原理。其中 AC-3 技术就是利用掩蔽效应，通过多声道之间的重放将噪声掩蔽的。

1.3 立体声

立体声就是一种具有空间立体感（方位感和深度感）的声音。人耳不但能感觉出声音的响度、音调和音色，也能感觉出声源的方向、距离，甚至运动情况，即具有立体感。人耳的这种立体感是由双耳效应引起的。

1.3.1 双耳效应

双耳效应又称为听觉定位原理。两个耳朵相距为 $(18 \sim 20)$ cm。人耳对声源方位的判断，主要是利用声波传到双耳的时间差、强度差和音色差来实现的，如图 1.3 所示。

由于两耳离声源的距离不同，声波传到两耳所需的时间就不相等，即具有时间差，于是人就感到声源偏向先听到声音的耳朵一边。又由于头颅的阻隔和遮挡作用，传到两耳的声强也就不会相等，即具有强度差，一般情况下总是感到声源偏向声音强的耳朵一边。另外，由于频率低的声波绕射能力强，频率高的声波绕射能力弱，所以不同频率的声音传到两耳时会有差异，造成音色差。

虽然前述三者都对听觉定位起作用，但其效果并不完全一样。实验证明，在 1000Hz 以下时，时间差起主要作用；在 $(1000 \sim 1500)$ Hz 之间时，强度差起主要作用；在 5000Hz 以上时，强度差和音色差共同起作用。

另外，人耳的听觉定位在水平方向比较精确，对正前方水平面内定位精度可达 3° 。在

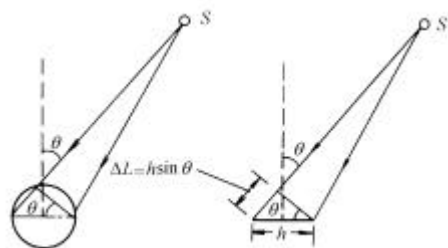


图 1.3 听觉定位

竖直方向的定位精度较差，只能达到 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。

1.3.2 双扬声器的声像定位

上面所述是一个声源向不同方位发声时给人的听觉印象。而当音响设备需要用多个位于不同方位的声源来产生立体声时（至少要用两个以上扬声器才能重放出立体声），人耳就会产生哈斯效应和德·波埃效应。

1. 哈斯效应

人耳对延时后的声音的分辨力有一定的局限性，即当两个内容相同的声音在同一时间以同样的强度到达人耳时，不一定能够分辨出到达的先后顺序，这就是人耳的哈斯效应（延时效应）。

(1) 两个扬声器发出的声音同时到达人耳，会感到好像只有一个声源，这个等效声源称为“声像”，它位于两个扬声器的正中央；

(2) 两个扬声器发出的声音到达人耳的时间差小于 3ms 时，声像偏向先传来的那个扬声器方向。时间差越大，偏角 α 越大，但不会大于 q ；

(3) 当时间差在 (5~30) ms 之间时，声像将固定在先传来的那个扬声器上；

(4) 当时间差在 (30~50) ms 之间时，会感到有两个声音，但方向仍固定在先传来的扬声器方向上；只有当时间差大于 50ms 时，才能清楚地听到两个来自不同方向的声音。

上述现象就是哈斯效应，如图 1.4 所示。

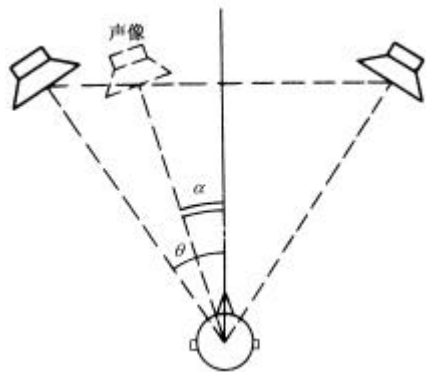


图 1.4 双扬声器声像定位

2. 德·波埃效应

在图 1.4 中，如果保证两个扬声器发出的声音同时传到入耳中，即不存在时间差，改变两个扬声器的发声强度，人们会有以下几种感觉：

(1) 强度差为零时，声像位于正中央；

(2) 强度差小于 15dB 时，声像偏向声音响的扬声器一侧；

(3) 强度差大于 15dB 时，声像固定在声音响的扬声器上。

上述现象称为德·波埃效应。

根据哈斯效应和德·波埃效应，当用两个处于不同位置的话筒拾取声音时，由于各声源与话筒之间的距离不等，传到两个话筒时会有不同的时间差和强度差。如把两个话筒产生的音频信号通过各自独立的两个通道处理后再用两个扬声器分别重放时，就会形成与原来各声源对应的声像，重现声音的立体感。

需要指出的是，为了真实重现原来声音的立体声情况，要求两个通道的性能要完全相同，否则会造成立体感失真。所以，音响设备中的音调、音量一般都用同轴双联器件来进行同步调节。

1.3.3 双通道立体声系统

双通道立体声系统是指用两条独立的通路分别传送由两个话筒产生的音频信号，并用分

开一定距离的两个扬声器重放声音的音响系统。按照拾音方式的不同，双通道立体声系统有 AB 制、XY 制和 MS 制三种，如图 1.5 所示。

AB 制使用两只性能完全相同的话筒，相距大约(1.5~2)m 拾音，这种制式结构简单，调试方便，但当两只话筒相距过大或声源运动时会感到声像从一只扬声器跳到另一只扬声器，不利于重现声源的运动特征，如图 1.5 (a) 所示。

XY 制可使用两个指向性为 8 字形的话筒，其主轴夹角一般应为 90° ，当其夹角大于 90° 时，易引起相位干扰。也可选用两只单指向性话筒，其主轴夹角可大于 90° ，一般做成夹角可调的结构，以达到使用方便的目的。这种制式与 AB 制相比其优点是两个声道的时间差和相位差很小，不会出现声源跳动现象，如图 1.5 (b) 所示。

MS 制是一种编码式立体声系统，它用一个全向性话筒拾取包括整个声场的信息(相当于 XY 制的 X+Y)，用一个 8 字形指向性话筒拾取声场两侧的信息(相当于 XY 制的 X-Y)。这种制式要用和差变换器把 M 和 S 信号转换成 X 和 Y 信号再分别送到两个扬声器放音才能重现立体声效果。其最大优点是能与单通道放音系统相兼容，如图 1.5 (c) 所示。

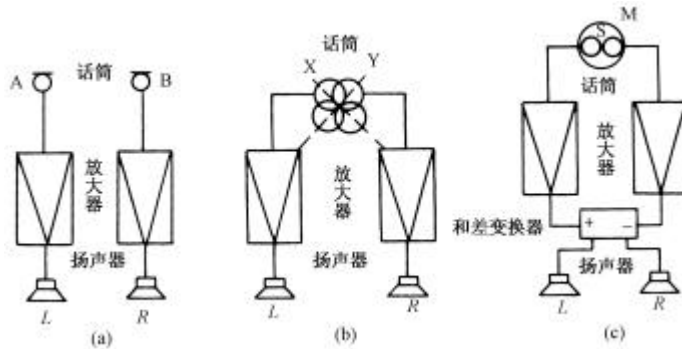


图 1.5 双通道立体声系统

双通道立体声系统只能重现水平方向上的平面立体感，对三维立体感效果较差。要真正重现三维空间立体感，则需要有三个以上的通道，具体内容详见第 5 章有关内容。

1.3.4 室内声场与混响

1. 室内声场特点

当声源在室内发声时，声源发出的声波会被墙面、地面、天花板等多次反射，并随着声波的吸收在经过若干次反射后而消失。因此，人们在室内聆听声音时，不但能听到由声源通过空气直接传来的声音，也能听到经墙面反射传来的声音。

由声源直接传到入耳的声音称为直达声，经过墙面反射传到入耳的声音称为反射声。反射声可分为前期反射声和后期反射声两类。前期反射声是指经过一次或两次反射的声音，它与直达声一起构成声音主体，后期反射声是指经过多次反射才传到入耳的声音，它是产生混响的主要原因。当聆听者离声源较近时，由于掩蔽效应的作用，主要听到直达声。当离声源较远时，则主要听到混响声。

2. 混响

混响是指室内的声源停止发声后所听到的余音，是声波在室内多次反射的结果。声学上一般用混响时间来衡量混响效果，其定义是从声源停止发声开始，到余音声压级较原来声压级下降 60dB 所经历的时间。混响时间的长短对听音效果有很大影响。混响时间过短，声音发干、沉闷枯燥；混响时间过长，声音混淆不清、无层次感，甚至能听到回声；只有当混响时间适当时，声音才会圆润、清晰、丰满。最佳的混响时间随声音的内容、听音环境而有所不同。一般专听语言的报告厅的混响时间为 (0.5~1.2) s；影剧院的混响时间为 (1.2~1.5) s；音乐厅的混响时间为 (1.6~2.1) s。室内的混响时间可通过改变墙面的吸声系数来调节，如在室内挂上布幔，可增大吸声系数，缩短混响时间。

另外，由于室内存在直射声波和反射声波，这些声波相互叠加会形成复杂的声干涉现象，使室内声场分布不均匀。又由于室内密闭性好，在某些频率点上会发生共振，造成音色失真。这些都是听音室设计中必须尽量消除的现象。在家庭中，由于房间的空间尺度较小，不可能获得所需的混响时间，所以家用音响设备必须采用专门的混响效果处理电路来进行混响处理。

1.4 电声变换基本原理

1.4.1 声电转换

声电转换由传声器(俗称话筒)完成，其作用是把声音变换成相应的电信号。声电转换的方法很多，最常见的电动式话筒是利用电磁感应实现声电转换的。

电动式话筒主要由磁体、振膜和音圈三部分组成。音圈处于磁体所产生的磁场中，与振膜联在一起。当声波作用在振膜上时，会引起振膜做相应的振动，并带动音圈振动，使音圈在磁场中进行切割磁力线运动而产生电压，实现声电变换。

1.4.2 电声转换

电声转换由扬声器完成，其作用是把电信号还原成声音信号。电声转换的方法也很多，最常见的电动式扬声器是利用安培力来实现电声转换的。

电动式扬声器主要由磁体、音圈和振膜构成。音圈处于磁体产生的磁场中，与振膜联在一起。当大小和方向都变化的音频信号流过音圈时，音圈会受到一个变化的安培力作用而进行前后振动，并带动振膜振动产生声波，实现电声转换。流过音圈的音频电流越大，音圈和振膜的振动幅度就越大，发出的声音也就越响。

小 结

1. 声波是频率为 20Hz~20 000Hz 的机械波，声音是声波作用于人耳引起的主观感受。发出声波的振动物体称为声源。

2. 空气中的声波可用气压的波动来描述。由声波引起的气压波动的有效值称为声压，用来表示声波的强度。气压波动的频率称为声频，它与声源的振动频率相同。实际声波往往包括一个基频和多个谐频。

3. 声波能在弹性媒质中传播，其传播速度随媒质的不同而有所不同，空气中的声速约为 340m/s。随着

传播距离的增大，其强度会迅速减小。声波在传播过程中遇到障碍物时会发生反射、折射和绕射。

4. 响度、音调和音色称为声音三要素，它们分别与声波的声压、基频和谐波的频谱结构相对应。

5. 人耳的听觉频率范围是（20~20000）Hz，声强范围是（0~120）dB。人耳对不同频率的声音具有不同的感觉灵敏度，一般对（1000~4000）Hz的中高频最敏感。

6. 掩蔽效应是指响的声音掩盖轻的声音。

7. 人耳的双耳效应使人具有听觉定位能力，使听觉具有立体感。人耳对声源方位的判别主要根据时间差、声强差和音色差来确定。

8. 双声道立体声的主要依据是哈斯效应和德·波埃效应。双声道立体声系统需要有两个话筒、两个通道和两个扬声器。

9. 声电转换一般是利用电磁感应实现的，电声转换是利用通电导线受安培力作用实现的。

习 题 一

1. 什么是波？什么是声音？什么是声源？

2. 简述声压与声压级。

3. 某一声波的频率为 170Hz，则该声波的波长为多少？

4. 为什么低频声传得较远而高频声传得较近？

5. 人耳可听到的频率范围为多少？能忍受的最大声压级为多少？

6. 什么是声音三要素？

7. 响度与什么有关？声压级为 40dB、频率为 1000Hz 的纯音的响度级为多少？为什么在音量低时要对高低频声音进行补偿？

8. 什么是音调？它主要由什么决定？

9. 什么是掩蔽效应？

10. 什么是立体声？简述人耳听觉定位原理。

11. 什么是声像？简述双通道立体声系统能实现立体声重放的原理。

12. 画出 AB 制双通道立体声系统框图。

13. 什么是混响？如何调节室内混响时间？

14. 简述电声变换原理。

第2章 收音机

收音机是一种常见的家电产品，掌握收音机的相关知识是学好本课程的基础。本章主要学习调幅、调频收音机的主要组成及信号流程，并对典型整机电路进行全面系统的分析。为了便于了解收音机的工作原理，首先介绍一下无线电广播系统的基础知识。

2.1 无线电广播系统基础知识

无线电广播是利用高频电流所辐射的电磁波来传递信息的。无线电技术中使用的电磁波称为无线电波，无线电广播、电视广播都是利用无线电波进行信号传播的。

2.1.1 无线电波波段的划分

无线电波在空间以光速传播，约为 $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，用 c 表示，单位为米/秒 (m/s)。电波在一个振荡周期内传播的距离称为波长，记为 λ ，单位为米 (m)。单位时间内的振荡次数称为频率，记为 f ，单位为赫兹 (Hz)。波长、频率与传播速度有如下关系：

$$\lambda = c/f$$

由上式可知：频率越高，波长越短；频率越低，波长越长。一般来说，频率从几十千赫兹到几十万兆赫兹（其波长范围从几十千米到不足一毫米）的电磁波都称为无线电波。通常根据无线电波的波长、频率和应用，把无线电波划分成几个波段，如表 2.1 所示。

表 2.1 无线电波波段的划分

波段名称	波长范围	频段名称	频率范围	用途
超长波	$(10^4 \sim 10^5) \text{ m}$	甚低频 VLF	30kHz~3kHz	海上远距离通信
长波	$(10^3 \sim 10^4) \text{ m}$	低频 LF	300kHz~30kHz	超远程无线电通信和导航
中波	$(2 \times 10^2 \sim 10^3) \text{ m}$	中频 MF	1500kHz~300kHz	无线电广播
中短波	$(50 \sim 2 \times 10^2) \text{ m}$	中高频 HF	6MHz~1.5MHz	电报通信
短波	$(10 \sim 50) \text{ m}$	高频 HF	30MHz~6MHz	无线电广播，电报通信
米波	$(1 \sim 10) \text{ m}$	甚高频 VHF	300MHz~30MHz	无线电广播，电视广播，无线电导航
分米波	$(10^{-1} \sim 1) \text{ m}$	特高频 UHF	3000MHz~300MHz	电视广播，雷达，无线电导航
厘米波	$(10^{-2} \sim 10^{-1}) \text{ m}$	超高频 SHF	$3 \times 10^4 \text{ MHz} \sim 3 \times 10^3 \text{ MHz}$	雷达，卫星通信，微波通信
毫米波	$(10^{-3} \sim 10^{-2}) \text{ m}$	极高频 EHF	$3 \times 10^5 \text{ MHz} \sim 3 \times 10^4 \text{ MHz}$	电视广播，雷达，无线电导航
亚毫米波	10^{-3} m 以下	超极高频	$3 \times 10^5 \text{ MHz}$ 以上	无线通信

其中，米波以下的波段又称为微波。习惯上对短波、微波等高频电磁波，通常用波长来表示；对于中波、长波等较低频率的电磁波，则用频率来表示。

2.1.2 无线电波的传播

无线电波和光波一样，具有直射、衍射、反射和折射等现象。一般无线电波的传播途径，按照离开地面的高度大致分为三种：地面波、空间波和天波。

(1) 地面波（地波）。就是指沿着地球表面的大气层传播的电磁波，如图 2.1 (a) 所示。由于在传播过程中电磁波受地面形态的影响很大，特别是山地和森林，使电磁波受到严重的衰减，一般来说，频率越高衰减越大。因此，只有中、长波才利用地波方式传播。

(2) 空间波。沿直线传播的无线电波叫做空间波，它包括由发射天线直接到达接收天线的直射波和经地面反射后到达接收天线的反射波，如图 2.1 (b) 所示。微波就是依靠空间波传播的。空间波的传播距离一般为几十千米，受大气干扰小，能量损耗小，接收到的信号较强且较稳定。

(3) 天波。依靠电离层的反射作用传播的无线电波叫做天波，如图 2.1 (c) 所示。在地球表面的大气层中，大约在 (60~400) km 高度的空间属于电离层范围。电离层一方面可以反射无线电波，另一方面，电离层要吸收无线电波，一般短波多利用天波传播。天波传播受外界影响较大，它与电离层强度、太阳辐射强度等多种因素有关。

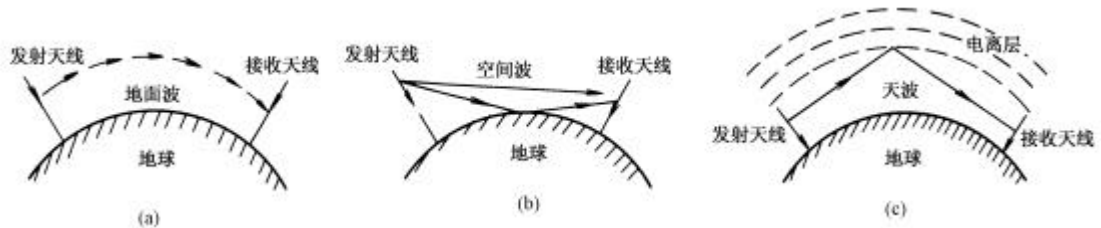


图 2.1 无线电波的传播途径

2.1.3 无线电波的发射

1. 载波

在无线电广播中，要传送的语言、音乐等声音信号的频率通常比较低。若把这些低频信号直接从天线发射出去，则天线的长度必须和电波的波长相对应，才能有效地发射。而且，只有频率相当高的电磁波才具有辐射能力。因此，必须利用频率较高的无线电波才能传送信号，即无线电广播要用高频电磁波载上低频信号传播到空间。在无线电广播中，通过高频振荡电路产生的高频、等幅电磁波叫做载波。载波是运输工具，传送低频信号。

2. 调制

用低频信号控制高频载波的过程叫做调制。其中，低频信号叫调制信号，经过调制以后的高频信号叫已调信号。利用传输线可把已调信号送到发射天线，变成无线电波发射到空间去。调制的方式一般有三种：调幅、调频和调相。若载波的幅度被低频信号控制，这种调制称为调幅；若载波的频率被低频信号控制，这种调制称为调频；若载波的相位被低频信号控制，这种调制称为调相。