
立体声和 调频立体声接收机

张绍高 华旭旦 编著

新 时 代 出 版 社

立体声和调频立体声接收机

张绍高 华旭旦 编著

新时代出版社

内 容 简 介

本书内容分为立体声和调频立体声广播接收机两部分。第一部分共四章，阐述了人耳的听觉特性，立体声的拾声、录声和听声。第二部分共五章，介绍了调频，调频发射机，调频接收机，导频制调频立体声广播和调频立体声接收机原理和电路。最后还介绍了两个用集成电路制作的实验调频立体声调谐器的电路、印刷电路板和有关元件、线圈参数，可供读者仿制参考。此外，还对几种产品立体声收录机调谐器电路作了分析。

本书适合于广播电台、无线电工厂的工人、技术人员、有关维修人员、院校师生及广大有中等以上文化程度的无线电爱好者阅读参考。

立体声和调频立体声接收机

张绍高 华旭旦 编著

新时代出版社出版 新华书店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 7.75印张 173千字

1986年2月第1版 1986年2月北京第1次印刷

印数：00,001—24,500册

统一书号：15241·56

定价：1.75元

前 言

调频立体声广播和立体声录声的重放,使听众能收听到层次清楚、有空间分布感的优美声音。因而,听过立体声音乐重放的人往往会感到传统的单声道重放音乐的乏味。立体声录声和立体声广播的出现已经有二十几年,现在,我国已经开始生产立体声唱片、立体声盒式录声带,调频立体声广播也已经在北京、广州、哈尔滨、上海、天津、长沙等城市播音,立体声收录机、电唱盘、扩声设备也已经在全国各地生产。

为了普及立体声和调频立体声接收机的知识,我们编写了这本小册子。本书第一章至第六章及第八章由张绍高编写,第七章及第九章由华旭旦编写。由于我们水平所限,书中出现不恰当甚至错误的地方,在所难免,请读者批评指正。

1983年6月

目 录

前言	III
第一部分 立体声	1
第一章 双耳听觉特性	1
§ 1.1 关于立体声	1
§ 1.2 人耳对声源的定位	2
§ 1.3 双扬声器听声实验	5
§ 1.4 正弦定理	6
第二章 立体声的拾声	8
§ 2.1 仿真头方式拾声	8
§ 2.2 AB方式拾声	8
§ 2.3 声级差方式拾声	9
§ 2.4 多声道录声	14
第三章 立体声的录声	15
§ 3.1 立体声唱片	15
§ 3.2 宽银幕立体声电影	16
§ 3.3 立体声磁带录声机	17
第四章 立体声的听声	18
§ 4.1 立体声的听声位置和声级差	18
§ 4.2 利用扬声器指向性来扩大听声范围	20
§ 4.3 利用反射板来改变听声范围	21
§ 4.4 从电路方面展宽声像	21
§ 4.5 立体声听声房间	22
第二部分 调频立体声接收机	23
第五章 调频	23
§ 5.1 关于调制	23
§ 5.2 调幅	24
§ 5.3 调频与调相	26
§ 5.4 调频与调相的关系	29
§ 5.5 调频波的边带及所需的带宽	30
§ 5.6 调频的抗干扰能力	35
§ 5.7 调频广播的预加重和去加重	37
§ 5.8 调频广播的优缺点	39
第六章 调频发射机	40
§ 6.1 变容二极管调频法	40
§ 6.2 脉冲调相间接调频法	41
第七章 调频接收机	43
§ 7.1 高频电路	43

§ 7.2	中频放大电路	52
§ 7.3	限幅电路	61
§ 7.4	鉴频电路	63
第八章	导频制调频立体声广播	71
§ 8.1	立体声广播	71
§ 8.2	导频制立体声广播的复合信号	71
§ 8.3	矩阵方式立体声调制器	74
§ 8.4	矩阵方式立体声解调器	77
§ 8.5	加有导频信号的完整复合信号波形	78
§ 8.6	矩阵方式立体声系统的分离度	79
§ 8.7	开关方式立体声调制器	85
§ 8.8	开关方式立体声解调器	87
第九章	调频立体声接收机电路	90
§ 9.1	38kHz 副载波形成电路	90
§ 9.2	矩阵式立体声解调电路	90
§ 9.3	开关式立体声解调电路	91
§ 9.4	实验调频立体声调谐器	97
§ 9.5	锁相环立体声解调电路	98
§ 9.6	实验调频调幅立体声调谐器	103
§ 9.7	调频立体声接收机电路举例	105
参考资料		106

02
PAD59456

第一部分 立体声

第一章 双耳听觉特性

§ 1.1 关于立体声

声音是由物体振动产生的，产生声音的振动物体称为声源。声音是以波的形式传播的，有声波存在的空间称为声场。

我们日常所听到的声音是由四面八方的不同声源传到我们耳朵里来的，因此我们是经常处于立体声场之中的。也就是说，我们日常听到的声音是立体声。

然而，现在一般所说的立体声，实际上是对立体声广播，立体声录音或立体声重放的简称。

人有双耳，因而人们能够判断声源的方位和空间分布。也就是说，人耳具有感受立体声场的能力。这就是通常所说的双耳效应[●]。

当我们收听一组大型管弦乐队演奏实况的转播时，如果声音转播系统只由一只传声器（即俗称的话筒）拾声（或由几只传声器拾声后混合在一起），经一个放大通道后，由一只扬声器（即俗称的喇叭）或由一组扬声器重放出来，即所谓的单声道系统，如图1.1(a)所示，由于这时重放的声源近似一个点声源，因而不能反映出实际声场中管弦乐队各种乐器的方位和空间分布，与人们在演奏现场听声的效果有很大不同，也就是缺乏立体感，这是单声道重放系统的最大缺点。

为了获得有立体感的收听效果，最初曾试验将许多传声器排成一个平面垂直地布置在演奏现场的舞台前面，将各个传声器分别连接到各自的放大器，然后将各放大器的输出分别与另一听声房间中排列成一个平面的同样数目的扬声器一一对应地连接起来。这样，在听声房间中听声时，可以获得与在演奏现场听声时非常近似的效果，能够区别出各种乐器的方位和空间分布，也就是具有立体感。随后发现，布置在演奏现场上方与下方的传声器实际作用不大，只要保留一

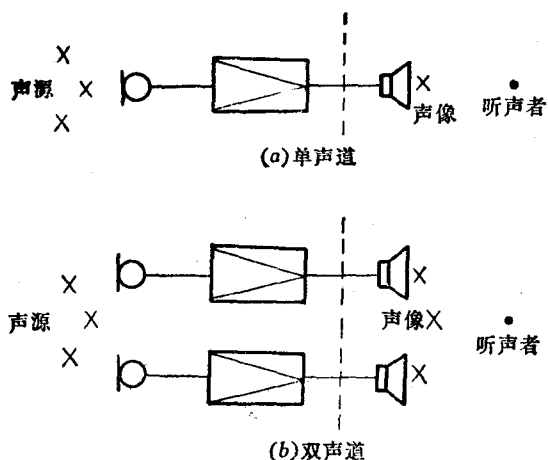


图1.1 单声道和双声道传声系统

● 最近几年的研究证明，单耳借助于耳壳（耳郭），也可以有一定的声音定位能力，称为耳壳效应，它对双耳定位功能起重要的补充作用。

排与乐器高度相当的传声器和一排与听声者耳朵高度相当的扬声器, 效果就已很好。当然组成一排的传声器数目和相应的扬声器数目越多, 也就是声道数越多, 效果就越好。但是声道数很多是不实际的。后来实验只用三个声道, 效果就已足够好, 这就是五十年代称为“西尼玛斯柯普”宽银幕立体声电影所采取的方法。随后, 进一步试验出用两个声道也可以获得很好的结果, 这就是近二十几年来立体声唱片、立体声磁带录声和立体声广播所采取的方式。

两声道(也称双声道)立体声传声系统如图1.1(b)所示。它比起单声道系统来, 无论在音质的改善和临场感的加强方面, 以及可以如实地重现实际声场中各个声源的方位和空间分布方面都有极大的飞跃。但两声道立体声传声系统只是在听声者的前方重现出声源的方位和空间分布, 还不是建立起四面八方的立体声场, 所以目前已经从两声道立体声向四声道全景立体声和三维环绕声发展, 但技术都还不成熟。本书中, 我们只着重介绍两声道立体声系统。

§ 1.2 人耳对声源的定位

由于人有双耳, 所以人们除了对声音具有响度(声音大小)、音调(声音高低)和音色(声音特色)三种主观感觉外, 还有对声源的定位能力, 即空间印象感觉, 也可以称为对声源的方位感或声学透视特性。

人耳所以能辨别声源的方向, 主要是由于下面两个物理因素造成的:

- (1) 声音到达左右耳的时间差;
- (2) 声音到达左右耳的声级差(或强度差)。

此外, 还有由上述两个因素派生出来的因素:

- (1) 声音的低频分量对左右耳所产生的相位差;
- (2) 由于人头的遮蔽作用的影响, 对声音高频分量所产生的音色差。

人耳所以能辨别声源的远近, 即对声音有纵深感, 在室内主要是由于直达声与连续反射声的声能之比不同的缘故。

除此之外, 人们的视觉以及经验等心理因素也可以帮助对声音分布状态的辨别, 但这些在立体声的拾声过程是无法利用的。

下面对上述各因素分别加以说明。

一、声音到达左右耳的时间差 Δt

如果声源在听声者的右前方较远处发声, 则可以近似地认为由声源传到左右耳(L 、 R)的声波方向是相同的。如果以声线表示声波的传播方向, 则到左右耳的声线是平行的, 如图1.2中 AL 、 BR 所示。

到达听声者左右耳的声音, 由于传播距离不同, 以及人头对声音的遮蔽作用, 会产生时间差、相位差、声级差和音色差。

为了简化, 可如图1.2所示, 将人的左右耳近似地看作是相距为 l 的两个点。 l 不是两耳的实际距离, 而是等效距离。于是声音到达左右耳的距离差为 LD , 时间差为

$$\Delta t = \frac{LD}{c} = \frac{l}{c} \sin \theta \quad (1.1)$$

式中 c 为声速, 在标准大气压下, 温度为 20°C 时, $c = 344\text{m/s}$; θ 为声波传播方向与

人头正前方所形成的方位角。如设 $l = 21\text{cm}$, 则

$$\Delta t = \frac{2l}{c} \sin \theta \approx 0.62 \sin \theta \text{ (ms)}$$

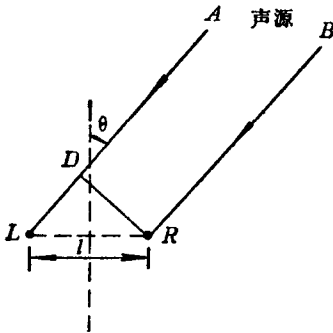


图1.2 将人的左右耳看作相距为 l 的两个点时, 求两耳听声时间差的示意图

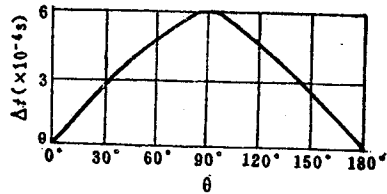


图1.3 不同方位声源到达两耳的时间差

计算结果如图 1.3 所示。

由式 (1.1) 可以得出: 声波到达左右耳的时间差 Δt 与声源的方位角有关, 可以根据它来确定声源的方位。

二、声音到达左右耳的相位差 $\Delta\phi$

对应于式 (1.1), 纯正弦声波在左右耳间产生的相位差 $\Delta\phi$ 为

$$\Delta\phi = \omega \cdot \Delta t = \omega \cdot \frac{l}{c} \sin \theta \quad (1.2)$$

式中, ω 为纯正弦声波的角频率。

当 ω 小时, 即当低频声时, 波长较长。例如在常温空气中, 20Hz 声波的波长约为 17m; 200Hz 声波的波长约为 1.7m。所以低频声波由于时间差所形成的相位差有一定的数值, 人耳可以根据它来判断出声源的方位。当 ω 大时, 即高频声时, 波长较短。例如在常温空气中, 10kHz 声波的波长约为 3.4cm, 20kHz 声波的波长约为 1.7cm。所以高频声由于时间差所形成的相位差值较大, 甚至会超过 360° , 这种相位差无法被辨别出是超前的还是滞后的, 因而不能由它判断出声源的方位。所以, 相位差只在判断低频声的方位时起作用。

由式 (1.2) 可以得出: 声波到达左右耳的相位差 $\Delta\phi$ 不仅与声源的方位角有关, 还与声源所发声波的角频率有关, 可以根据它来确定低频声的方位。

三、声音到达左右耳的声级差

由于人头对声波的遮蔽, 即使声波传来的方向相同, 但由于频率不同, 也会对两耳造成不同的声级差^②。

- 通常所说的声音强度, 可以是指某一声音的声压大小, 也可以是指它的声强大小。声压是由于有声波存在时, 使静态大气压强上附加的压强, 单位是牛顿/米² (即 N/m^2)。声强是指垂直于声波传播方向上单位面积的声功率, 单位是瓦/米² (即 W/m^2)。声级可以分为声压级和声强级。声压级是将已知声压与一参考声压 ($2 \times 10^{-5} \text{N/m}^2$) 的比值求常用对数后再乘以 20 得出的, 单位是分贝 (即 dB)。声强级是将已知声强与一参考声强 (10^{-12}W/m^2) 的比值求常用对数后再乘以 10 得出的, 单位也是分贝。声级差可以是声压级差, 也可以是声强级差。对于平面声波来说, 某一强度的声音, 声压级与声强级分贝数是相同的。

图 1.4 所示为一些频率的纯音到达左右耳的声级差 ΔP 随声源方位角 θ 的变化关系。由图可以看出:

(1) 对于从听者正前方附近 ($0^\circ \sim 40^\circ$) 传来的声音, 左右耳的声级差随声源的方位角变化较大, 即声源变化一个角度时, 声源在两耳间所产生的声级差变化较大 (即曲线较陡), 所以人耳对正前方附近声源方位的变化反应比较灵敏, 也就是定位能力较强。

(2) 设曲线群以 90° 为中分线, 则左右曲线群呈不对称形状, 这说明人能够区分声音的前后方向。

(3) 300Hz 以下的纯低音, 到达两耳的声级差约为 1 dB, 数值过小, 人耳无法用它来进行声源定位。

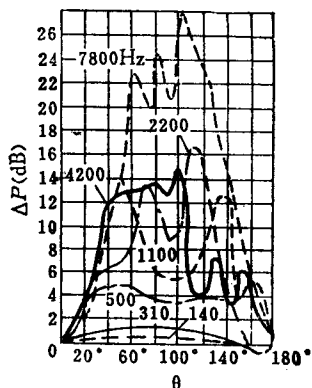


图1.4 纯音到达左右耳的声级差随声源方位角的变化关系

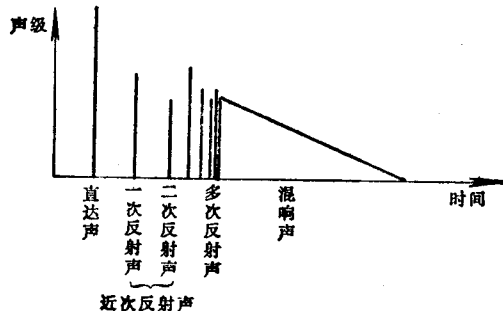


图1.5 房间中的声音

四、声音到达左右耳的音色差

当声源不是一个频率的纯音, 例如是一个乐器发出的声音时, 由于乐器发出的声音可以分解为一个基频声和许多高次谐波频率声。根据人头对高频声的遮蔽作用或根据上述不同频率声音到达左右耳的声级差, 即或声源方位角一定时, 各频率的声级差也是不同的, 这将使基频声和各个高次谐波频率声在左右耳的声级不同, 因而两耳间听到的声音的音色将不同, 也就是声音到达左右耳有了音色差。我们日常所听到的声音很少是一个频率的纯音, 而大多是象乐器所发出的复杂声音。

除上述时间差、相位差、声级差和音色差可以使人们能辨别声源方位外, 对于房间内声源的远近, 是靠直达声与连续反射声的声能之比来加以判断的。

声源在房间中发声, 传到入耳时, 除去最先直接传来的直达声以外, 还有陆续由房间六面反射后传来的声音, 反射声要持续一段时间。首先传来的是经一次反射后的一些声音, 以后是经两次、三次反射后传来的密度逐渐增大的近次反射声, 然后是多次反射、密度极大并逐渐平滑衰减的混响声, 如图 1.5 所示。

一个房间大小形状固定后, 它的混响声持续的时间也就固定了, 而且一定强度的声音在房间中的连续反射声所造成的声音强度也就固定了。直达声强度随声源的远近而不同, 当声源距听声人近时, 直达声很强, 而连续反射声是固定的, 因此两者的声能比值很大; 当声源距听声者较远时, 直达声变弱而连续反射声不变, 因此两者的声能比值减

小。另外，人耳听直达声时感到声音清晰，但对连续反射声，则感到声音模糊。所以，人耳听声时就是根据两者的声能比值，也就是根据直达声相对的清晰程度来判断声源的远近。

§ 1.3 双扬声器听声实验

在 § 1.2 中所讨论的是由一个声源在不同方位所发声音对人们的听觉印象。在本节中，我们来讨论有一定关系的两个声源对人们的听觉印象。

如果声源是两个左右对称地布置在听声者面前并发出有一定关系声音的扬声器。设两扬声器的距离等于听声者与两扬声器连线中心的距离 (350cm)，如图 1.6 所示。图中 α 为扬声器对听声者的半张角，为 27° 。

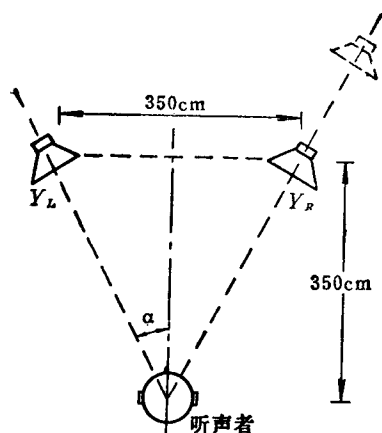


图1.6 双扬声器听声实验

所谓有一定关系的两个声源，是指两声源所发声音相同，只是强度和时间有差别。下面我们分几种情形来进行研究。

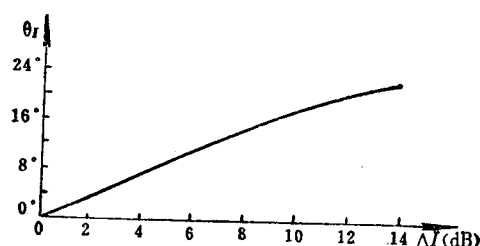


图1.7 声级差 ΔI 与声像偏移量 θ_I 的关系

一、两扬声器所发声音只有强度差而无时间差时

对两扬声器所发声音只有强度差而无时间差的情况研究的结果，可以归纳出下面两点：

(1) 当馈给两扬声器相同信号，并且两扬声器发出的声音强度相等时，即左扬声器所发声音强度 I_L 等于右扬声器所发声音强度 I_R 时，两扬声器所发声音在听声者处没有时间差，听声者只感到在两扬声器中间处有一虚声源即声像存在，而并不感到两个扬声器在发声。

(2) 如果使两扬声器中的一个增大所发声音的强度，则声像将由中间向较大声级的扬声器方向偏移，偏移量 θ_I 与两扬声器的声级差 ΔI 的关系如图 1.7 所示。当声级差超过 15dB 时，声像就将固定在声级较强的扬声器一边。

二、两扬声器所发声音只有时间差而无强度差时

对两扬声器所发声音只有时间差而无强度差的情况进行研究后，可以归纳出下面三点结论：

(1) 设法使在听声者处由两扬声器传来的声音有时间差，但到达听声者处的强度仍相等。可以将图 1.6 中 Y_R 扬声器向后移到虚线所示位置，使 Y_R 传来的声音滞后于 Y_L 传来的声音，并且调整 Y_R 扬声器所发声音强度，使到达听声者处的声音强度与 Y_L 扬

声器传来的声音强度相等。这时听声者会感到声像位置向未延时的 Y_L 扬声器方向偏移。这种现象称为优先效应。声像的偏移量与两扬声器所发声音到达听声者处的时间差 Δt 的关系如图 1.8 所示。当时间差小于 3 ms 时, 声像位于两扬声器之间偏向未延时扬声器一边, 当时间差大于 3 ms 而小于 30ms 时, 声像都固定在未延时扬声器一边, 而感不到延时扬声器的发声。当时间差大于 30ms 而小于 50ms 时, 听声者会感到延时扬声器的存在, 但仍感到声音来自未延时的扬声器。当时间差大于 50ms 时, 则听声者会听到延时扬声器所发出的另一清晰的声音, 即产生回声的效果。

(2) 当时间差小于 3 ms 时, 如果改变两扬声器对听声者的半张角 α , 声像的偏移量也将相应地增大或减小。

(3) 当时间差大于 3 ms 而小于 50ms 时, 声像在未延时扬声器一边, 延时声的作用只是加强了未延时声的强度, 使听声者感到声音更加丰满。

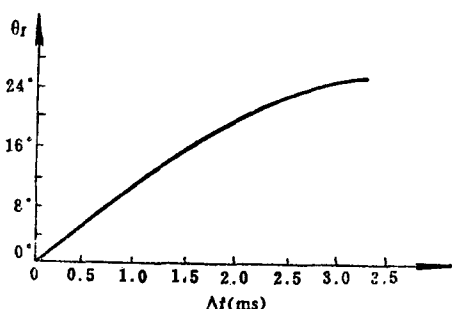


图1.8 时间差 Δt 与声像偏移量 θ_i 的关系

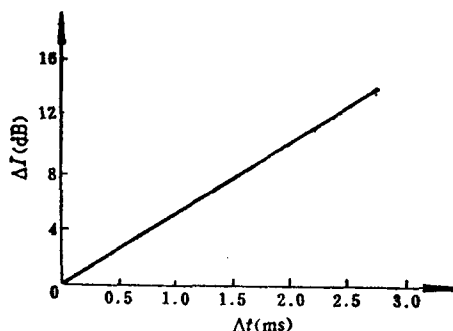


图1.9 声级差与时间差的关系

三、两扬声器所发声音既有强度差又有时间差时

如果两扬声器所发声音在听声者处既有强度差又有时间差时, 它们的综合作用将使声像偏移角度增大或减小。适当选取时间差和声级差, 可以使两者的作用完全抵消, 使听声者感到声像的位置仍在两扬声器连线的中间。图 1.9 所示为声级差与时间差产生相同效果时, 两者之间的关系。

由图可以看出, 当 ΔI 在 15dB 以下时, Δt 在 3 ms 以下时, 它们之间成线性关系, 即 $\Delta t 1\text{ms}$ 相当于 $\Delta I 5\text{dB}$ 。

§ 1.4 正弦定理

由 § 1.3 可知, 控制左右扬声器所发声音的强度, 使它们具有声级差, 就可以在听声者的听觉上造成声源的方向感。设图 1.10 所示的左右扬声器 Y_L 与 Y_R 的特性完全相同, 听声者位于两扬声器的中分线上, α 为扬声器的半张角, θ_i 为声像的方位角。

将 Y_L 和 Y_R 所发声音强度分别设为 L 、 R , 对 L 、 R 与 α 、 θ_i 之间的关系进行研究后, 得到了下面的近似公式:

$$\sin \theta_i \approx \frac{L - R}{L + R} \sin \alpha \quad (1.3)$$

上式是用于频率 $f \leq 700\text{Hz}$ 时, 即人头对声波的遮蔽作用可以忽略的情况。如 $f > 700$

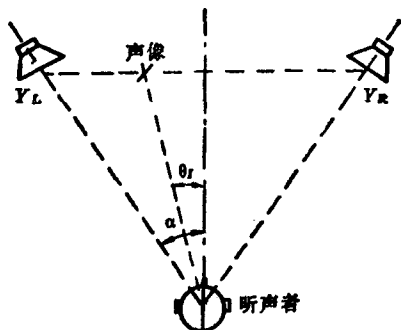


图1.10 正弦定理示意图

Hz 时, 则应引入一个修正系数 $K \approx 1.4$, 即

$$\begin{aligned} \sin \theta_l &\approx K \frac{L-R}{L+R} \sin \alpha \\ &\approx 1.4 \frac{L-R}{L+R} \sin \alpha \end{aligned} \quad (1.4)$$

如设 $f \leq 700\text{Hz}$ 时 $K = 1$, 则式 (1.4) 即为通用式, 称为双声道立体声正弦定理。

由式 (1.4) 可以看出, 声像位置 θ_l 有如下规律:

(1) 改变 L 和 R , 声像将在两扬声器之间作有规律的定位。

当 $L = R$ 时, $L - R = 0$, $\theta_l = 0^\circ$, 声像位于两扬声器中间;

当 $L \gg R$ 时, $\frac{L-R}{L+R} \rightarrow 1$, $\theta_l = \alpha$, 声像位于左扬声器处;

当 $L \ll R$ 时, $\frac{L-R}{L+R} \rightarrow -1$, $\theta_l = -\alpha$, 声像位于右扬声器处。

θ_l 与 $\frac{L-R}{L+R}$ 成正弦关系, θ_l 的变化范围是 $-\alpha \leq \theta_l \leq \alpha$ 。

(2) $\frac{L-R}{L+R}$ 相同时, 高频信号的 θ_l 要大于低频的。这对于实际的声音信号来说, 由于它是由许多频率合成的, 因而将使其中的高低声频分量有不同的声像定位。这将使原来的一个声源定位成一片声像, 导致声像混乱, 这可由电路上设法解决, 办法见 § 2.3。

(3) 扬声器半张角 α 增大时, θ_l 也增大, 听声者距扬声器越近, α 越大, 声像的位置变化也越大。

第二章 立体声的拾声

拾声是指用传声器拾取声音并将声音转变为电信号。

立体声广播或立体声录音时对立体声节目信号的拾声方式，在双声道立体声系统中可以分为仿真头方式、*AB* 方式以及声级差方式（包括 *XY* 方式和 *MS* 方式）。此外，还有多声道录音法。下面分别加以介绍。

§ 2.1 仿真头方式拾声

所谓仿真头，是用塑料或木材仿照人头形状作成的假人头，其大小也与真人头相同。在仿真头的两耳处也作出耳道，并在左右耳道里面分别安装一只无指向性电容传声器，并将传声器引线由内部引出，将传声器的输出分别作为左、右声道信号。仿真头中左右传声器所拾得的声音信号与人耳左右鼓膜所听到的声音信号是非常相似的，也有声级差、时间差和相位差等。如果将仿真头左右传声器拾得的信号分别经放大器放大后，送往立体声耳机的左右单元，则人们头戴耳机听声时，就相当于把听声者转移到仿真头所在的位置去听声。因此，真实感很强、立体声效果很好。这一系统如图 2.1 所示。

用耳机听声时，左、右耳机单元所发声音信号的时间差对声源定位的情况，与 § 1.4 中所述用两个扬声器听声时的情况有所不同。当左耳声音延时 0.15ms 时，可以感到声像偏向右方 20° ；延时 0.3ms 时，感到声像偏向右方 40° ；延时 0.6ms 时，则会感到声像偏向右方 90° ，即在正右方。如果延时大于 10ms ，则可感觉到左右出现先后两个声音。这种现象产生的原因是，扬声器建立的声场，需要通过听声房间的空间来形成，需要一定的时间，并且左右两只扬声器所发声音都可以被两耳听到，每一只耳朵所听到的声音是左右扬声器所发声音的合成波阵面。所以用仿真头拾得的声音必须用高保真立体声耳机来听声，而不能用两个扬声器来放声，否则会引起附加的时间差和声级差，使听声者感到声像的位置与原来声场中声源位置有所不同，也就是产生了声源位置畸变现象。

用耳机听声时还会出现头中效应，也就是听声者会感到声像出现在头中两耳的连线上或在头顶上。

仿真头制式立体声是在七十年代高保真立体声耳机出现以后才得到了发展。现在有些国家的立体声广播就采用这种制式，立体声录音磁带和立体声唱片也有采用这种制式的。

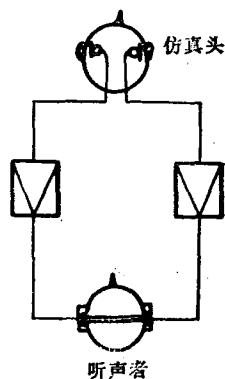


图2.1 仿真头立体声系统

§ 2.2 *AB* 方式拾声

将两只特性完全相同的心形指向性传声器彼此相隔约 $1.5\sim 2\text{m}$ （也可减小到几十厘米，视声源排列宽度而定），置于声源前方，分别拾声后作为左右声道信号输出，经左右放大器分别放大，由布置在听声者前方左右的扬声器发出声音。

这种拾声方式，当声源不在两传声器等分线上时，声源到达两传声器的路程将不同。因此，每只传声器拾得的信号是既有声级差又有时间差（即相位差），而在一定时间差时的相位差随声源频率而不同。所以如果将左右信号合起来作单声道重放时，就会产生有的频率左右信号相位相同，输出将增大，有的频率左右信号相位反相，输出将很小，即发生相位干涉现象。由于相位干涉现象使单声道重放时声音的输出强度随频率产生变化，听起来会感到不悦耳。

用 AB 方式拾声时，如果两传声器相距较远，听声时还会产生中间空洞现象和伴之而来的中间凹陷现象。这是由于当两传声器相距较远时，位于中间的声源由于距两传声器的距离较远，所以重放时它所形成的声像强度较弱并且声像向左右靠拢，使中间声像变得稀疏，象是存在一个空洞，并且使听声者感到中间的声像向后方凹陷。如图 2.2 所示，这种现象更严重时，会使声像集中分布在左右扬声器的附近，造成声像分裂成互不相关的两个声群，从而破坏了声音的立体感。

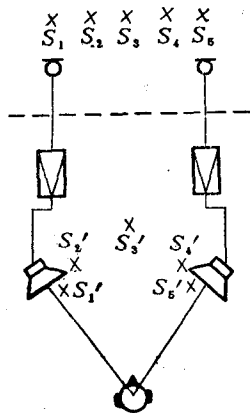


图2.2 AB方式的中间空洞现象

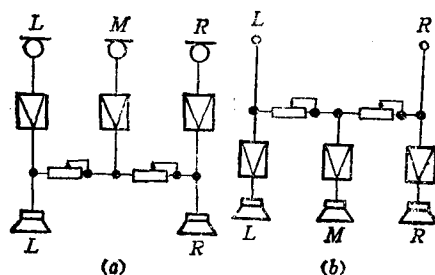


图2.3 解决AB方式空洞现象的两种方法

由于上述现象，当拾声时如有一声源从 S_1 向 S_2 作匀速运动，重放时会感到声音不是以相同时间通过 S_1 到 S_2 之间的各段，声像沿圆弧形轨道移动，通过中间附近各点时的速度将较快。

如果拾声时两传声器相距过近，当一声源由左向右运动时，会感到声像是沿着由左扬声器与听声者连线的方向移来，通过听声者前方后，又沿着听声者与右扬声器连线的方向移去。

对中间空洞现象造成的声像畸变，可以用增加中间传声器的方法来校正，这时可将中间传声器所拾得的信号分别加到左右声道中去，如图 2.3(a) 所示。也可以在重放时，采用增加一个中间扬声器的方法。加到中间扬声器的信号是由左右声道中分别取得一部分后相加在一起的，如图 2.3(b) 所示。

由于 AB 方式有空洞现象等缺点，并且它拾声时能够拾得声源到达左右传声器的时间差，因而不利于合并成单声道信号。所以，现在的立体声广播为了使普通单声道接收机也能接收立体声广播电台的播音，都不采用 AB 方式拾声。

§ 2.3 声级差方式拾声

声级差方式拾声是用两个传声器一上一下靠紧地在一起组成一对，两传声器的主轴

形成一定角度来进行拾声的。由于各方向声源传到两个传声器的直达声几乎没有距离差, 所以也没有时间差而只有由两传声器类型和主轴方向不同所形成的声级差。因此, 这种拾声方式所拾得的信号当合并成单声道重放时, 就没有相位干涉现象。

根据这种方式所使用的传声器类型和主轴所指方向, 可以再分为 XY 方式和 MS 方式两种。

在介绍声级差的两种方式以前, 先介绍一下各种指向性传声器的输出信号与主轴和声源夹角 θ_r 之间的关系。

设在一定强度声源时, 传声器主轴方向正对声源, 传声器输出信号为 E_0 , 对 θ_r 方向声源的输出信号为 E , 则

$$(1) \text{ 无指向性传声器} \quad E = E_0$$

$$(2) \text{ 心形指向性传声器} \quad E = \frac{1}{2} E_0 (1 + \cos \theta_r)$$

$$(3) \text{ “8” 字形指向性传声器} \quad E = E_0 \cos \theta_r$$

请参看图 2.4。

一、 XY 方式拾声

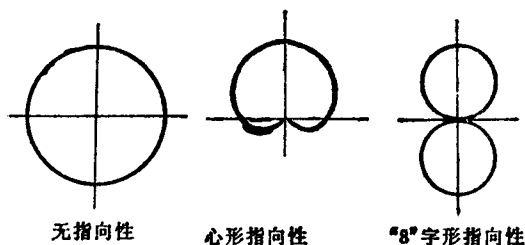


图2.4 各种指向性传声器的指向性图

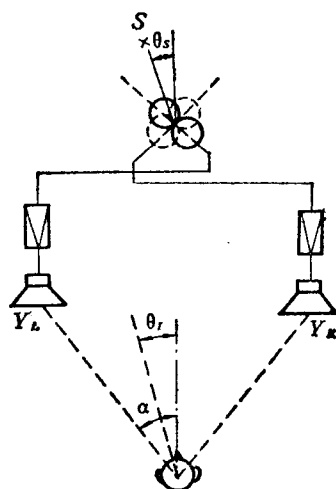


图2.5 XY 方式立体声拾声

XY 方式立体声拾声所用的两个传声器必须是相同类型并且特性一致的。例如两个心形或两个“8”字形传声器。两传声器的夹角可以是 90° , 也可以增大到 120° , 视拾声范围而定。两传声器主轴分别与正前方形形成相等夹角。拾声时, 指向性主轴朝向左边的传声器 (图 2.5 中实线“8”字形) 所输出信号送入左声道; 指向性主轴朝向右边的传声器 (图 2.5 中虚线“8”字形) 所输出信号送入右声道。

XY 方式的声像规律

1. 当采用两个“8”字形指向性传声器 X 、 Y , 并使两者主轴夹角为 90° 进行拾声时, 两传声器输出信号强度分别为

$$X = E_0 \cos(45^\circ - \theta_r)$$

$$Y = E_0 \cos(45^\circ + \theta_r)$$

式中 θ_r 为声源方位角。

将两传声器输出信号分别进行同等放大后送到左右扬声器 Y_L 、 Y_R , 分别重放出 L 、 R 强度的声音时, 则

$$L \mp R = X \mp Y = E_0 \cos(45^\circ - \theta_s) \mp E_0 \cos(45^\circ + \theta_s)$$

用三角公式展开后得

$$L - R = 2E_0 \sin 45^\circ \sin \theta_s$$

$$L + R = 2E_0 \cos 45^\circ \cos \theta_s$$

将上两式代入正弦定理公式 (1.4), 可求得听声时声像方位角 θ_r 与声源方位角 θ_s 之间的关系为

$$\sin \theta_r \approx K \tan \theta_s \sin \alpha \quad (2.1)$$

由式 (2.1) 可以大致看出, 在一般情况下, $\theta_r \approx \theta_s$, 这意味着要产生声像畸变。式 (2.1) 当 $f \leq 700\text{Hz}$ 时, 即 $K = 1$ 时, 可以绘成曲线, 如图 2.6 所示。图中只画出扬声器半张角 $\alpha = 60^\circ$ 及 $\alpha = 30^\circ$ 时的情况。

(1) $\alpha = 60^\circ$ 时, 当声源方位角 θ_s 小于 35° 时, 对应的声像方位角 θ_r 与实际的声源方位角 θ_s 很接近 (θ_r 稍大), 这时声像畸变很小。当声源方位角 $\theta_s > 35^\circ$ 时, 声像方位角 θ_r 比实际声源方位角 θ_s 大, 这时声像向两边扬声器方向靠近, 将产生声像畸变。

(2) $\alpha = 30^\circ$ 时与 $\alpha = 60^\circ$ 时相比较, 相当于听声者不动, 而将两扬声器互相靠近, 或者两扬声器不动, 而听声者离扬声器较远的情况。从图 2.6 曲线的变化规律来看, 也有类似 $\alpha = 60^\circ$ 时的情况, 即 $\theta_s \leq 35^\circ$ 时, θ_r 与 θ_s 基本呈线性关系, $\theta_s > 35^\circ$ 时, θ_r 增长较快。从曲线总的趋势来看, 可以知道声像方位角 θ_r 小于声源方位角 θ_s 。也就是说, 声像比声源更靠近中心线。例如 $\theta_s = 10^\circ$ 时, $\theta_r = 5^\circ$; $\theta_s = 20^\circ$ 时, $\theta_r = 12^\circ$ 。这是 XY 方式拾声方式的特点。

当 $f > 700\text{Hz}$ 时, $K = 1.4$ 。由正弦定理可知, 声像方位角要增大。为了在相同的

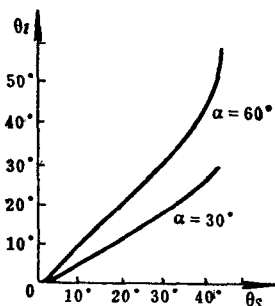


图2.6 XY制式拾声时 θ_s 与 θ_r 的关系

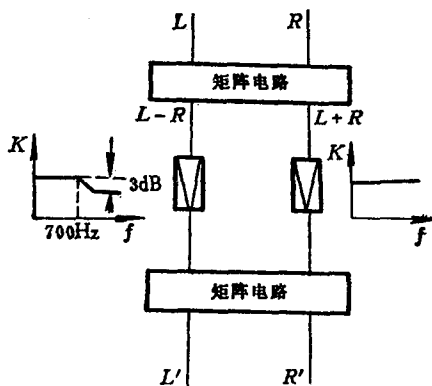


图2.7 校正电路

声源方位角 θ_s 情况下, 使与之对应的声像方位角 θ_r 在高频与低频时一致, 可以按正弦定理所表示的规律, 在电路上加以校正, 如图 2.7 所示。

校正过程如下: 将两个声道的信号在图 2.8 所示的矩阵电路中进行加减变换, 得出 $(L + R)$ 和 $(L - R)$ 两个信号。然后将差信号 $(L - R)$ 通过一个以 700Hz 为转折频率的“阶梯频响电路”, 使高于 700Hz 的信号产生一个下降 3dB 的阶梯, 而和信号 $(L + R)$ 则通过一个平直频响的电路, 然后与差信号再在一个与前一个矩阵性质相反的矩阵电路中进行加减变换, 得出新的左右声道信号 L' 和 R' 。这样, 再进行重放时, 就将两个扬声器重放系统所引起的高频声像方位角增大的趋势预先校正过来。