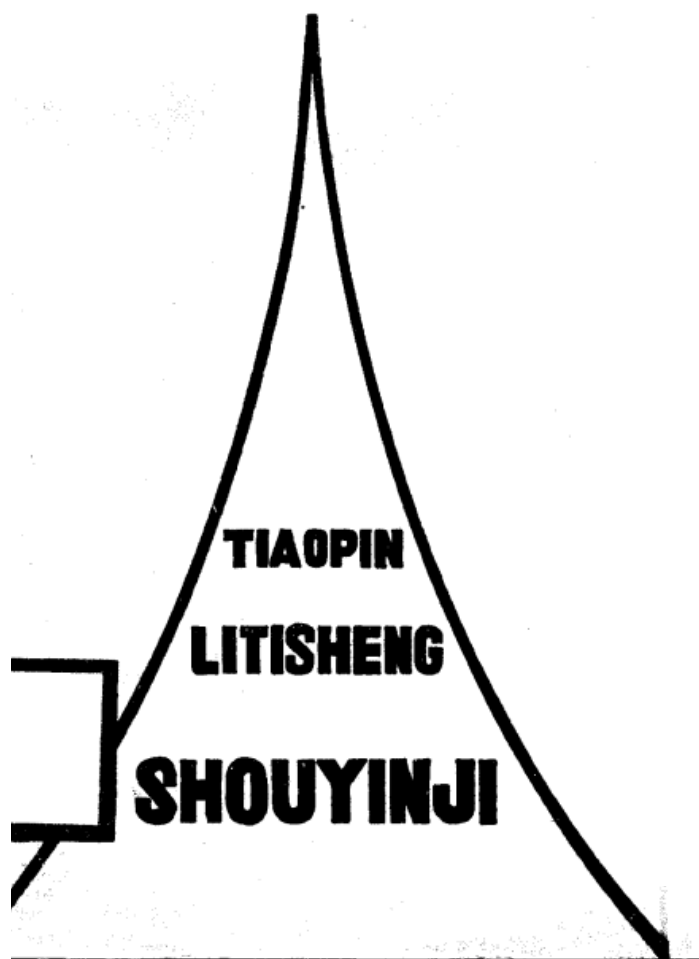


调频立体声收音机

陈建国 编著



调频立体声收音机

陈建国 编著

责任编辑 袁元

河南科学技术出版社出版

河南新乡市印刷厂印刷

河南省新华书店发行

350×1168毫米 32 开本 12.75印张 299千字

1988年5月第1版 1988年5月第1次印刷

印数1—11,000册

ISBN7-5349-0051-4/T·52

定价3.60元

序

随着人们文化生活的日益提高，立体声技术近年来在国内得到迅速普及。立体声盒式音带、立体声唱片已大量上市，调频立体声广播电台已在全国许多城市陆续建立，立体声音乐欣赏已成为广大音乐爱好者、电声爱好者和无线电爱好者十分热衷从事的活动。

我在多年从事声频技术业务工作中，深切体会到立体声音乐对人们有很大的感染力。双声源放音的强度差、时间差、相位差效应，造成了重放声像群的展开感、方位感以及音乐厅内的空间感、融合感，从而使聆听者产生一种强烈的临场感。因此，听过优质立体声音乐的听众不愿再去听单路声音乐，正如看过彩色电视的观众不愿再看黑白电视一样。

同唱片(包括下一代的CD唱片)和盒式音带(包括下一代的数字化盒式音带)一样，调频立体声广播也是家庭中最好的立体声节目源之一。它可以提供50~15000Hz那样宽的频带，失真、信噪比指标也较高，分离度指标也还可以。因此，国内外都有一些城市，开办了专门播放优质音乐节目的调频台，供广大听众收听欣赏。

四年前，我国已正式选定导频制作为调频立体声广播的标准制式，因而促进了接收机的迅速发展。除了已深入家庭的普及型调频立体声接收机以外，有关研究部门还研制出了采用频率合成、

微机控制技术的高保真调频立体声调谐器。这种接收装置具有数字调谐、自动寻台、台址存储等高级功能，更适于作为高保真立体声节目源。

陈建国同志多年从事无线电技术方面的教学、科研工作，为适应调频立体声广播在国内迅速发展这一很好的形势，为使广大读者能够系统了解调频立体声接收机的原理、使用方法、调试方法和维修技术，他编著了这本技术书。该书具有很强的理论性、系统性和实用性，其中的五至八章更具特色。作者在这四章里，详细地分析了接收机的整机实际电路，介绍了接收机的使用、维修和调试方法，这对广大使用者、维修人员和有关无线电厂的工人、技术人员都有实际指导意义，值得人手一册。

我深信，这本书的出版，在推动我国调频立体声广播事业的发展 and 普及立体声技术方面将作出重要的贡献。

李宝善

1987年3月15日于沪

前 言

随着电子学的飞速发展和立体声技术的不断完善，现在，人们已经能够通过立体声系统，把音乐厅内大型乐队的演奏场面，以层次分明、具有空间分布感的声舞台的形式真实地再现于普通居室。聆听者足不出户便可欣赏美妙动听的音乐，并可准确地判断出各种乐器在舞台上的不同位置。如果说单声道放声系统曾经使人们领略了贝多芬英雄交响曲那热情激荡的优美旋律，那么，立体声放声系统则把人们带入那英勇悲壮、气势磅礴的战斗场面之中。笔者深信，随着人们物质文化生活的日益提高，立体声将会为更多的人们所熟悉，所喜爱。

立体声广播是重要的立体声节目源，所以在开始立体声研究不久，人们就进行了立体声广播的实验。迄今为止，双声道调频立体声广播技术已经发展到成熟和普及的阶段，我国现已有很多城市开办了调频立体声广播，同时，调频立体声收录机也已进入千家万户。因此，收录机的生产、维修人员和广大无线电、电声爱好者就希望能够全面、系统地掌握调频立体声收音机的基本原理和调试、维修技术，数以千万计的收（录）音机用户也很需要了解机器的使用维修知识和立体声欣赏知识。本书就是为此而写的。

本书分为八章：第一、二章分别简介了立体声原理和调频立

体声广播系统；第三章详述了调频立体声收音机的基本原理，讲解中结合大量实际电路，从分立元件入手进行分析，然后对一些最常用的集成电路的内部电路作了必要的介绍，这对于生产与维修人员是颇为有用的；第四章介绍调频立体声收音机的各项基本参数及其与电路的关系；第五章精选了四种典型的收录机进行整机电路分析，旨在提高读者分析整机电路的能力；第六章介绍了使用知识和立体声欣赏知识；第七章详细讲述了收（录）音机维修的基本技能、技巧，并结合50个故障实例，介绍了23类常见故障的排除方法，对每个故障实例，都给出了分析的思路和排除故障的具体方法，并总结探讨了故障发生的原因；第八章分别从专业和业余维修的角度介绍了收音机的调试方法。附录载有作为国家标准的基本参数测量方法。

笔者希望本书能使读者有所收益。同时恳请读者对书中的缺点和谬误不吝赐教。

本书承我的老师、广播声学界前辈张绍高教授审阅，黄琥工程师对第四章至第八章进行了技术校对，廖旭登工程师精心绘制了全部插图，王明臣副教授在笔者编写此书的过程中给予了许多具体指导和帮助，特别是著名电声学家、国际声频工程学会会员李宝善高级工程师在百忙中为本书作序，笔者在此谨向他们致以诚挚的谢意。

北京广播学院广播技术研究所 陈建国

目 录

第一章 立体声的基本原理.....	(1)
第一节 声音及双耳听觉特性.....	(1)
一、声音.....	(1)
二、声音的声强级差、时间差、相位差及音色差.....	(3)
三、耳壳效应.....	(5)
四、双扬声器实验.....	(6)
五、房间内声音的组成.....	(10)
六、立体声的特点.....	(11)
第二节 双声道立体声信号的检拾.....	(12)
一、双声道立体声系统.....	(12)
二、传声器简介.....	(13)
三、 A/B 制拾音方法.....	(14)
四、 X/Y 制拾音方法.....	(16)
五、 M/S 制拾音方法.....	(17)
六、模拟人头制拾音方法.....	(20)
七、多传声器制拾音方法.....	(21)
第三节 立体声信号的记录.....	(24)
一、原始的立体声信号记录方式.....	(24)

二、45/45式唱片	(25)
三、磁带录音	(28)
第二章 调频立体声广播系统	(32)
第一节 调频广播及其特点	(32)
一、调幅和调频	(33)
二、预加重和去加重	(40)
三、调频广播的特点	(41)
第二节 调频立体声广播制式	(42)
一、立体声广播的发展	(42)
二、导频制调频立体声广播系统	(45)
第三节 调频立体声广播发送系统	(51)
一、导频制调频立体声广播发射机	(51)
二、调频立体声编码器	(54)
第三章 调频立体声收音机原理	(63)
第一节 调频立体声收音机的组成	(63)
一、收音机方框图	(63)
二、主要电路的功能	(65)
第二节 调频调谐器	(67)
一、输入选频回路	(67)
二、低噪声高频放大电路	(79)
三、变频电路	(85)
四、自动增益控制 (AGC) 电路	(92)
五、自动频率控制 (AFC) 电路	(98)
六、集成调频调谐器	(102)
第三节 中频放大器	(108)
一、LC 调谐式中频放大电路	(110)

二、 LC 集中参数滤波器中频放大电路·····	(115)
三、固体滤波器中频放大电路·····	(117)
四、集成中频放大电路·····	(124)
五、限幅电路·····	(127)
第四节 鉴频器及其附属电路·····	(133)
一、鉴频器的种类与技术要求·····	(134)
二、比例鉴频器·····	(135)
三、移相乘积鉴频器·····	(141)
四、其他鉴频器·····	(147)
五、噪声抑制电路·····	(148)
六、调谐指示电路·····	(150)
第五节 立体声解码器·····	(151)
一、矩阵式解码电路·····	(151)
二、开关式解码电路·····	(158)
三、集成解码器基本电路·····	(163)
四、集成锁相环解码电路实例·····	(185)
第六节 立体声音频放大器·····	(195)
一、常用音频电压放大电路·····	(195)
二、均衡电路·····	(196)
三、音调控制电路·····	(199)
四、等响度控制电路·····	(201)
五、立体声平衡控制电路·····	(203)
六、立体声展宽电路·····	(205)
七、双通道前置放大集成电路实例·····	(206)
八、功率放大电路·····	(211)
第四章 调频立体声收音机的基本参数·····	(221)

第一节	基本参数的意义、极限指标及要求·····	(221)
第二节	调频立体声收音机电路与基本参数的关系·····	(229)
一、	调频调谐器·····	(229)
二、	中频放大器·····	(231)
三、	鉴频器和立体声解码器·····	(233)
四、	音频放大器和放声系统·····	(234)
第五章	整机电路分析·····	(236)
第一节	典型高级型机·····	(236)
一、	美多CM6510型组合式收录机收音单元·····	(236)
二、	夏普GF—800Z型收录机收音单元·····	(241)
第二节	典型普及型机·····	(244)
一、	熊猫SL—05型收录机收音单元·····	(244)
二、	熊猫SL—05型收录机录放单元·····	(248)
三、	三洋M4500K型收录机收音单元·····	(249)
四、	三洋M4500K型收录机录放单元·····	(252)
第六章	收音机的挑选、使用与立体声欣赏·····	(257)
第一节	收音机的挑选·····	(257)
第二节	收音机的使用·····	(262)
第三节	立体声欣赏·····	(266)
一、	如何得到较好的立体声聆听效果·····	(266)
二、	立体声的耳机欣赏·····	(270)
三、	立体声音乐的欣赏·····	(272)
第七章	调频立体声收音机的维修·····	(275)
第一节	维修基础知识·····	(275)
一、	各种常用工具的使用·····	(275)
二、	常用仪表、仪器的使用·····	(277)

三、维修的一般过程·····	(281)
四、维修的基本常识·····	(284)
第二节 检查故障的基本方法·····	(289)
一、信号注入法·····	(289)
二、信号寻迹法·····	(294)
三、短路法·····	(296)
四、替代法·····	(297)
五、测量分析法·····	(298)
第三节 常见故障的分析与排除·····	(298)
一、收音机完全无声·····	(298)
二、调频、调幅波段都收不到信号·····	(302)
三、调幅波段正常，调频波段收不到信号·····	(303)
四、收音时信号漂移·····	(307)
五、调谐指示产生误差·····	(308)
六、调频波段灵敏度低·····	(309)
七、调幅、调频波段灵敏度都低·····	(315)
八、调幅波段正常，调频波段噪声大·····	(316)
九、调幅、调频波段噪声都大·····	(319)
十、调幅波段正常，调频波段声音失真·····	(320)
十一、调幅、调频波段声音都失真·····	(325)
十二、调幅波段正常，调频波段有啸叫声·····	(329)
十三、调幅、调频波段都有啸叫声·····	(332)
十四、交流声过大·····	(335)
十五、高频机振·····	(337)
十六、调幅、调频波段一个声道不工作·····	(338)
十七、接收立体声信号时一个声道不工作·····	(340)

十八、左、右声道音量不一致·····	(342)
十九、立体声效果差·····	(344)
二十、完全失去立体声效果·····	(347)
二一、立体声指示灯不亮、常亮或时亮时熄·····	(351)
二二、立体声展宽电路失效·····	(353)
二三、其他故障·····	(354)
第八章 调频立体声收音机的调试 ·····	(360)
第一节 专业调试方法 ·····	(360)
一、调频调谐器的调试·····	(360)
二、中频放大器和鉴频器的调试·····	(362)
三、立体声解码器的调试·····	(365)
第二节 业余调试方法 ·····	(366)
一、调频调谐器的调试·····	(367)
二、中频放大器和鉴频器的调试·····	(367)
三、立体声解码器的调试·····	(368)
附录 调频立体声收音机基本参数的测量方法 ·····	(369)
主要参考文献 ·····	(394)

第一章 立体声的基本原理

立体声实用技术近些年来发展是突飞猛进的。在70年代初，“立体声”这个词对于国内绝大多数人来说还是陌生的；而在今天，人们在家里通过立体声收录机欣赏立体声音乐已是很普通的事情了。人们通过立体声放声系统欣赏交响乐时，不仅可以感觉到乐曲旋律和声音强弱的变化，而且还能准确地判断出小提琴的声音来自舞台的左侧，长笛的声音来自舞台的中部，而倍大提琴的声音则来自舞台的右侧。这种临场感和自然感，使人仿佛置身于音乐厅中，直接聆听交响乐队气势磅礴的演奏一样。

那么，立体声放声系统为什么会使人产生临场感和自然感呢？要回答这个问题，就需要了解立体声的基本原理。

第一节 声音及双耳听觉特性

一、声音

声音可以由各种各样的声源产生，如人的喉咙里发出的说话声，机器发出的隆隆声，乐器发出的乐曲声等等。但是，无论何种声音都是由振动产生的。

当物体振动时，会引起周围空气介质的振动，进而使周围的空气产生压缩和膨胀，并向外传播，受到压缩和膨胀的空气传到人耳，在人的耳膜上引起相应振动，再传到听觉神经，于是人就

听到了声音。仅有机械振动,没有传播这种振动的介质,人是听不到声音的,这是因为声音的传播是通过介质进行的。通常声音传播的主要介质就是空气。空气中传播的声音称为声波。在真空中人耳是听不到声音的,人们常说,月球是一个万籁俱寂的世界,就是因为那里没有空气。

在物体振动过程中,随着振动频率的不同,产生的声音频率也不同。实践证明,人耳可以听到的声音的频率范围是 $20\sim 20000$ Hz。这一频率范围声音称为声波,频率低于 20 Hz的称为次声波,高于 20000 Hz的称为超声波。人耳是听不到次声波和超声波的。

声音的传播以空气为介质,但空气的密度是随温度而变化的,所以声音的传播速度(声速)与温度有关,人们通常所说的声速是指常温下空气中的声速,其值为 340m/s 。

表征声音的物理量除了频率和速度之外,还有声压、声强和声强级。

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(牛/米²),简称为帕,用Pa表示。声压的大小反映了声波的强弱。

声强是指在单位时间里,通过与指定方向垂直的单位面积上的声能量,用 I 表示。它的单位是瓦特每平方米,即 W/m^2 。

声强级是一个相对值。从能引起人耳听觉的最弱声强到人耳能够忍受的最大声强,相差约 10^{12} 倍,可见声强的变化范围是非常之大的。在实际中采用声强表示多有不便,故把某一声音的声强 I 与人耳听觉的最弱声强 I_0 的比值的常用对数乘以10,称为该声音的声强级,简称声级,用 L 表示,即有

$$L=10\lg \frac{I}{I_0} \text{ (dB)} \quad (1-1)$$

它的单位是dB（分贝）。

声音的能量在传播过程中随距离增大而减小，这种现象称为衰减。衰减的原因是声音在传播时，由于空气介质具有粘滞性，当介质点运动时就发生摩擦，使声能变成热能消耗掉了。此外，声音传播时，能量向四周扩散，其结果必然使通过单位面积的声音能量随距离增大而减小。这可以理解为：位于球心的声源向四周均匀地扩散能量，随着扩散半径的增大，所对应的球体的表面积也增大，而通过单位面积的能量则必然减小。

二、声音的声强级差、时间差、相位差及音色差

人耳辨别声源的方位，靠的是双耳在聆听声音时的声强级差（简称声级差）、时间差、相位差及音色差。

人的双耳位于头颅的两侧，虽然相距很近，但是当某一声音从人的左侧传来时，必然先到达左耳，然后绕过头颅到达右耳。显然，到达右耳的声音比到达左耳的声音要弱一些，也就是说，到达右耳的声音的声强级小于左耳的，即在两耳之间产生了声级差。

实验证明，声级差不仅与声源的方位有关，还与声波的频率有关。同一方位的声源发出的声波，频率越高声级差越大，频率越低声级差越小，而当声波的频率低于300Hz时，就基本感觉不到声级差了。这是因为在声波传播过程中，遇有几何尺寸大于声波波长的障碍物时，声波就会被遮蔽；当障碍物的几何尺寸小于声波波长时，声波则可以绕射过去。换言之，声波波长越长，绕射能力越强，反之，绕射能力则越弱。这同无线电波的传播是一样的。所以当声波的频率很低时，波长很长，可以非常容易地绕过人的头部，路程差就显得微不足道，因而人的双耳就听不出声级差

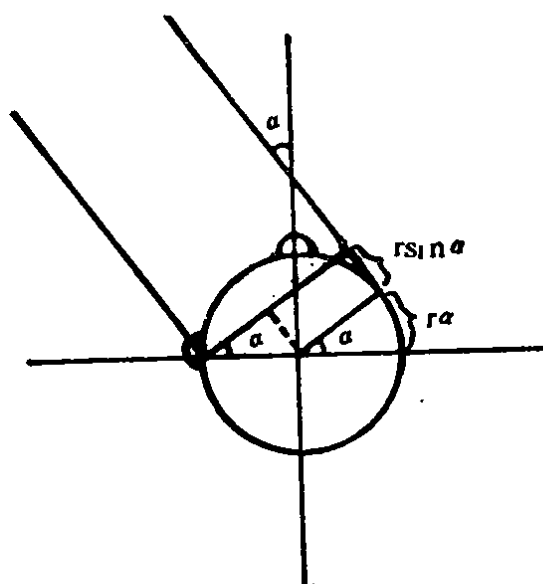


图1-1 距离差引起的时间差

了。

下面再来讨论时间差。由图1-1可见，当声源位于聆听者左前方时，因声源距聆听者两耳的距离不同，所以声波不可能同时到达双耳，于是聆听者就会感觉到声波到达双耳的时间差 Δt 。由图1-1可知，时间差应表示为

$$\Delta t = \frac{r \sin \alpha + r \alpha}{c} = \frac{r}{c} (\sin \alpha + \alpha) \quad (1-2)$$

式中， r 为人头的半径； α 为声波传播方向与人头正前方之间的夹角； c 为声速。当声音从左方或右方传来时， α 为 90° ， Δt 最大约为 0.64ms ；当声音从正前方或正后方传来时， α 为 0° 或 180° ， Δt 为零。实验证明，双耳可以辨别出的最小时间差 $\Delta t = 0.03\text{ms}$ ，对应的 α 为 3° 左右。

声音传到双耳有时间差，就必然会有相位差。设某一纯音（即单一频率的声音）的角频率为 ω ，则其相位差 $\Delta \phi$ 可表示为：

$$\Delta \phi = \omega \Delta t \quad (1-3)$$

将式(1-2)代入式(1-3)，可得相位差为

$$\Delta \phi = \frac{\omega r}{c} (\sin \alpha + \alpha) \quad (1-4)$$

自然界的绝大部分声音称为复音。它是由各种频率分量的纯音组成的。对于复音来说，频率不同，相位差也不同，计算时可以先将复音分解成纯音，再用式(1-4)求出。

最后来谈一下音色差。所谓音色差，是指双耳聆听声音时感

觉到的频率差。我们知道，声音频率越高，波长越短，声音的绕射能力越差，衰减就越大；声音频率越低，波长越长，声音绕射能力越强，衰减也越小。当复音声波绕过头颅时，复音中不同频率的声波将有不同的衰减。这样，到达左、右耳的声波的频率组成就会不同，双耳就感觉到了频率差即音色差。实际上音色差也是声级差，只不过是不同频率的声级差。

一般来说，在低频和中频时，双耳定位主要依据声波的时间差，而在高频时则依据声波的声级差。在声波频率为3000Hz左右时，时间差、声级差均难以定位，此时人耳的定位作用较差。

三、耳壳效应

近年来人们发现，即使一只耳朵聋了的人，对声音的方位仍然具有判断能力。研究证明，这种单耳对声音方位的判断能力出自人的耳壳。因为耳壳本身呈椭圆形，且耳道不在耳壳中心，而

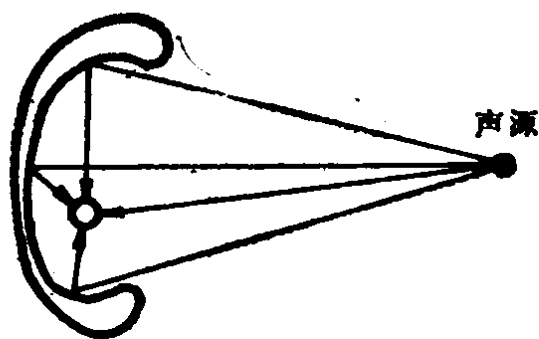


图1-2 耳壳对声音的反射

位于耳壳下方。所以，当外界声音到达耳朵时，由于耳壳各部位的反射作用，会产生一些具有很短延时量的重复声，如图1-2所示。这些重复声的延时量，随外界声音传入耳壳时的入射角不同而异。从水平方向入射的声音，其重复声延时量约为 $2 \sim 20\mu\text{s}$ ，从垂直方向入射的声音，其重复声延时量则约为 $20 \sim 45\mu\text{s}$ 。人耳就凭借这些重复声的不同延时量来判断声音传来的方向。此外，当声音入射角不同时，这些重复声的脉冲排列也不同，这也有助于人们判断声音的方位。当然，如果声音从聆听者后方传来时，耳壳自然不能反射重复声，但由于不同频率的声音绕射能力不同，因而还可以使人感到音色差，这就足以使人判断出声音来自后