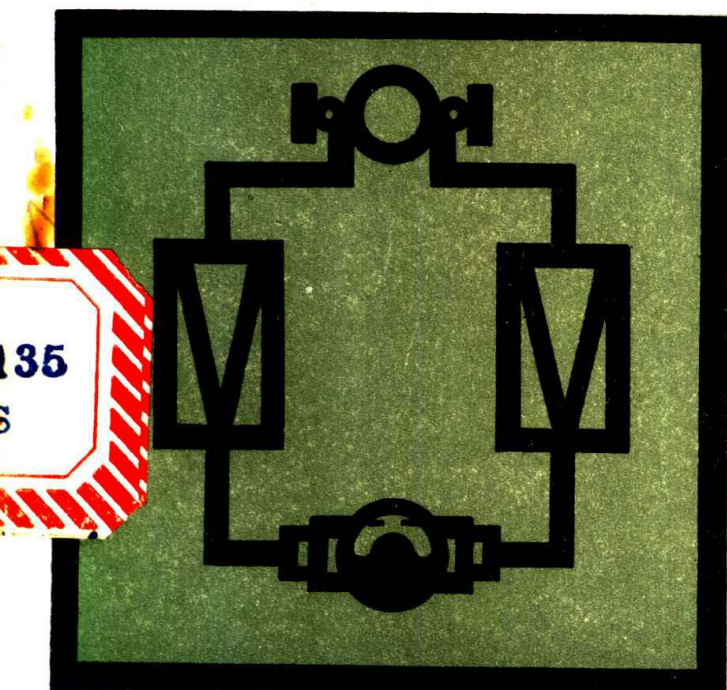


无线电爱好者丛书

立体声

周则时 编著



无线电爱好者丛书

立 体 声

周 则 时 编 著

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

本书是立体声技术的普及读物。全书共分六章。第一章从听觉定位原理入手，通俗地介绍了什么是立体声；第二章讲述各种双声道立体声拾声方式；第三章着重介绍导频制立体声广播系统；第四章分析了双声道调频立体声收音机电路原理；第五章介绍立体声电唱机和录音机；最后一章就四声道立体声系统和调幅立体声广播做了简要说明。全书文字通俗易懂。

本书适于广大无线电爱好者阅读。

无线电爱好者丛书

立 体 声

周 则 时 编 著

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北 京 印 刷 一 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

*

开本：787×1092 1/32 1982年8月第一版

印张：3 20/32 页数：58 1982年8月北京第一次印刷

字数：81 千字 插页：3 印数：1—221,000册

统一书号：15045·总2626-无6202

定价：0.34元

中国电子学会科学普及读物编辑委员会

主 编：孟昭英

副主编：杜连耀

编 委：毕德显 吴朔平 叶培大 任 朗

吴鸿适 童志鹏 陶 栻 顾德仁

王守觉 甘本祓 张恩虬 何国伟

周炯槃 邱绪环 陈芳允 秦诒纯

王玉珠 周锡龄

本书责任编委：叶培大

丛 书 前 言

电子科学技术是一门发展迅速、应用广泛的现代科学技术。电子技术水准是现代化的重要标志。为了尽快地普及电子科学技术知识。中国电子学会和出版部门约请有关专家、学者组成编委会，组织编写三套有不同特点的、较系统的普及丛书。

本丛书是《无线电爱好者丛书》，由人民邮电出版社出版，其余两套是《电子应用技术丛书》，由科学普及出版社出版；《电子学基础知识丛书》，由科学出版社出版，

本丛书密切结合实际讲述各种无线电元器件和常用电子电路的原理及应用；介绍各种家用电子设备（如收音机、扩音机、录音机、电视机、小型电子计算器及常用测试仪器等）的原理、制作、使用和修理；提供无线电爱好者所需的资料、手册等。每本书介绍一项实用无线电技术。使读者可以通过自己动手逐步掌握电子技术的一些基本知识。本丛书的对象是广大青少年和各行各业的无线电爱好者。

我们希望广大电子科学技术工作者和无线电爱好者，对这套丛书的编辑出版提出意见，给以帮助，以便共同努力，为普及电子科学技术知识，为实现我国四个现代化作出贡献。

目 录

第一章 什么是立体声.....	(1)
1.1 听觉定位原理	(1)
1.2 双扬声器实验	(4)
第二章 双声道立体声系统的拾声方式.....	(11)
2.1 AB 制	(11)
2.2 XY 制	(15)
2.3 MS 制	(17)
2.4 假人头制	(20)
2.5 多传声器制	(22)
第三章 双声道调频立体声广播.....	(24)
3.1 调频广播	(24)
3.2 双声道调频立体声广播制式	(30)
3.3 导频制调频立体声广播	(33)
3.4 SCA 广播	(38)
第四章 双声道调频立体声收音机.....	(40)
4.1 对双声道调频立体声收音机的要求	(42)
4.2 导频制立体声解调电路(解码电路)	(44)
4.3 双声道调频立体声收音机实例	(68)
第五章 立体声电唱机和立体声录音机.....	(71)
5.1 立体声唱片	(71)
5.2 立体声电唱机	(74)
5.3 磁带	(83)

5.4	立体声录音机	(87)
第六章	四声道立体声系统和调幅(中波)立体声广播...	(99)
6.1	四声道立体声系统	(99)
6.2	调幅(中波)立体声广播	(106)

第一章 什么是立体声

对许多人来说，听音乐会无疑是一种非常美好的享受。坐在音乐厅里，凭借听觉器官——双耳，我们不仅能听得出交响乐队演奏乐曲的旋律及强弱变化，判断是什么乐器发出的动听的声音，而且还可以判断各种乐器在舞台上的位置。即使你闭上眼睛，也可以听得出第一小提琴演奏的声音来自舞台左侧，而打击乐器来自舞台的右后方……我们在音乐厅中聆听到的这种层次分明、具有立体感（方位感和深度感）的声音效果，就是通常所说的立体声。

人为什么能够听得到立体声呢？你也许会马上回答：“因为人有耳朵嘛！”这个回答并不全面。因为，当我们用手捂住一只耳朵，而只用另一只耳朵听音乐节目时，就会发现立体感几乎消失了，各种乐器发出声音的方向感觉不到了，好象所有乐器发出的声音都来自同一位置。这就说明人所以能聆听立体声，是因为人长了两只耳朵，人的双耳具有听觉定位的本领，进而能判断声源位置的缘故。

1.1 听觉定位原理

声音可以由声波传到人的两耳时所具有的强度差（声级差）、时间差（相位差）、音色差来区别。这些差别作用于人的中枢神经系统，使中枢神经系统对声音传来的方向做出心理判断。这就是我们所说的“听觉定位”。强度差、时间差、音色差是听觉定位的三大要素。当一声源发声时，由于聆听者自身头

部的屏蔽作用，声源到两耳的距离一般来说并不相等。因此，到达两耳的声音也就不完全相同，而是具有一定的强度差和时间差。为了计算的方便，我们近似地把人头当作一个球体来处理。当声波和垂直双耳连线的平面的夹角(偏离角)为 θ 时，声

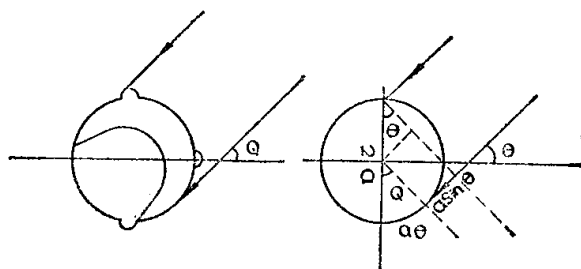


图 1-1 时间差示意图

音到达双耳的时间差可由图 1-1 求出：

$$\Delta t = \frac{a}{c}(\theta + \sin \theta) \quad (1-1)$$

式中 a 为球体的半径，对于一般人头而言， $2a=17$ 厘米； c 为声速，在空气中温度为 15°C 时等于340米/秒。将上述数据代入(1-1)式，可得到：

$$\Delta t = 0.25(\theta + \sin \theta) \text{ 毫秒} \quad (1-2)$$

如象图 1-2 那样做进一步的近似，认为双耳间的等效距离为 h ，则有：

$$\Delta t = \frac{h}{c} \sin \theta \quad (1-3)$$

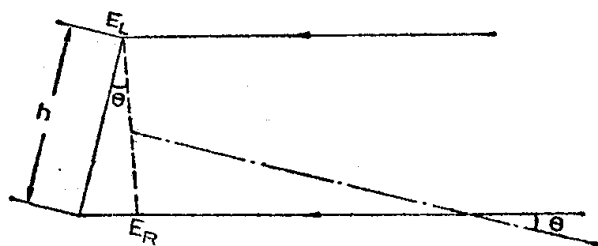


图 1-2 时间差近似计算示意图

当 $h=21$ 厘米时，上式变为：

$$\Delta t = 0.62 \sin \theta \quad (1-4)$$

(1-4)式和(1-2)式计算结果相当接近。

对于纯音(正弦波)而言，由于声音到达双耳时存在着时间差，也就相应地产生了相位差。相位差为：

$$\Delta \phi = \omega \Delta t \quad (1-5)$$

式中 ω 为声波的角频率。将(1-5)式代入(1-1)和(1-3)式中，可得：

$$\Delta \phi = \frac{\omega a}{c} (\theta + \sin \theta) \quad (1-6)$$

和

$$\Delta \phi = \frac{\omega h}{c} \sin \theta \quad (1-7)$$

非纯音(复音)是由不同频率分量的单音组合而成的。不同频率分量产生不同的相位差，计算时把不同频率代入(1-6)式或(1-7)式即可。

再来看强度差。实验证明，声波绕过聆听者的头部以后，在双耳产生的声音强度差不仅与入射角有关，而且还是频率的函数。频率低于 300 赫时，由于波长很长，声波可以不受阻挡地绕过人的头部，在左耳和右耳产生相等的声压，这样双耳感受到的声波强度差几乎为零。

实际上，一个声源发出的声波绕过聆听者头部在双耳中既会产生强度差，又会产生时间差。究竟哪一项差值在声源定位中起主要作用呢？目前对这个问题尚无定论。起初有的学者认为时间差起主要作用，但实验证明，上述结论当频率在 1 千赫以下时非常明显是正确的，但频率再高时情况就不同了。随着频率的升高，聆听者双耳产生的相位差也随之增加，甚至可能出现一个相位差对应几种不同的声音入射方向，难以判断相位

超前还是落后，因此声源无法定位。另外一些人认为强度差在声源定位中是主导的因素，这对高频声音定位容易解释。但如前所述，频率在 300 赫以下的声音利用强度差却无法定位。

目前对这个问题的解释，比较流行的说法是：声波在聆听者双耳间产生的时间差，可以作为低频和中频定位的主要依据；强度差可以作为高频定位的主要依据。需要指出的是，对于 3 千赫附近的过渡频率范围，无论相位差还是强度差这两个因素均难于解释声音的定位作用。事实上在这一频率范围内人耳的定向作用也差。

实验还证明，对于位于聆听者前面的声源，水平面上声源定位的准确度一般是 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ；对于聆听者后面的声源，定位精度要低得多，这可以用耳壳的屏蔽作用解释。此外，不同的人听觉灵敏度不同，对声源定位精确度也不同。听觉灵敏的人（如乐队指挥）对其前面声源定位的精度可达到 3° ，对声音强度差的判断可达到 1 分贝。

至于对声音高度（仰角）的定位原理，目前还不太清楚。曾有人认为，人对声源方位仰角的判断很迟钝；也有人认为人的听觉能力仅限于水平面，对仰角的判断是依靠头部微小的转动实现的。近来还有人提出单耳效应对垂直定位很重要。关于深度定位，聆听者听到的直达声和间接声（包括室内前期反射声与混响声）的强度比是一个重要因素。顺便指出，人们对声源的定位，除了听觉的生理作用外，还涉及到心理作用。目前有人提出的“心理声学效应”就将声学和心理学进行了联系。

1.2 双扬声器实验

上节介绍的声源定位原理，谈的都是只有一个声源的情

况。由于声音到达双耳的路程不同以及头部的屏蔽作用，聆听者凭借经验即可确定声源的位置。下面讨论声音是从两个声源发出的情况。两个声源发出的声音到达双耳时，迭加后会有什么现象发生呢？让我们在消声室内作一个双扬声器实验。

实验装置如图 1-3 所示。两个扬声器(L 和 R)对称地放在聆听者前方，二者的距离等于聆听者到两扬声器连线中点的距离，向二扬声器送入相同内容的信号。分下面几种情况讨论：

1. 当两个扬声器发出的声音强度相等时，显然由于两个扬声器和聆听者有相同的距离，不存在时间差，聆听者便感觉不到有两个声源，而感觉到象只有一个声源似的。这个实际上并不存在的等效声源称为“声象”，位于两扬声器中间。这时我们

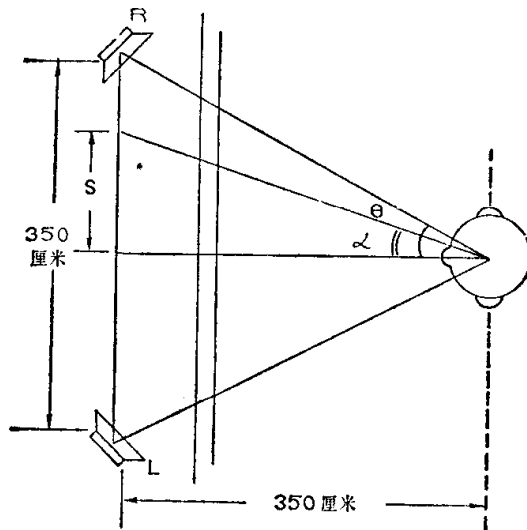


图 1-3 双扬声器试验(I)

称声象方位角为零。若增大其中一个扬声器发出声音的声级，则聆听者会感觉到声象位置向声级较大的扬声器方向移动。移动量以图 1-3 中示出的角 α 表示，与两扬声器的声级差 ΔI 有关，其关系曲线如图 1-4 所示。当 $\Delta I > 15$ 分贝时， α 角已超

过 24° ，聆听者感觉到的声象将固定于声级较大的那个扬声器的方向上。

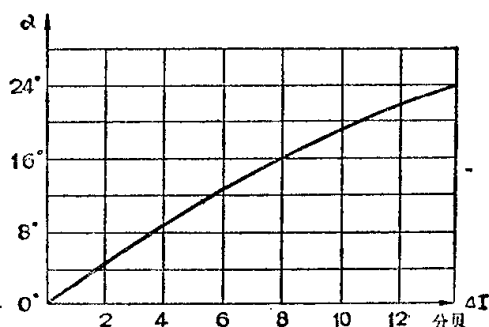


图 1-4 $\alpha \sim \Delta I$ 关系曲线图

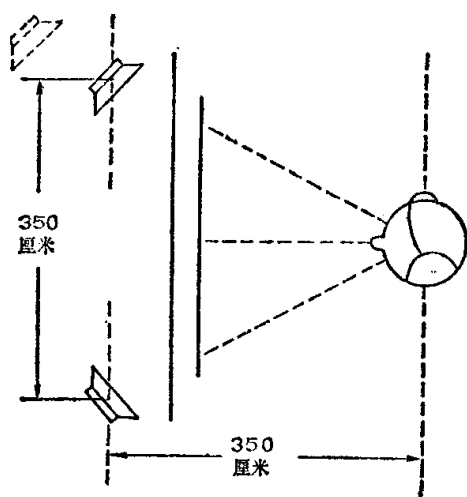


图 1-5 双扬声器试验(II)

2. 将一个扬声器适当后移，使其置于图 1-5 中所示出的虚线位置，但保持两扬声器发出的声音到达聆听者双耳时强度相等，即 $\Delta t \approx 0$ 而 $\Delta I = 0$ 。这时聆听者感觉到的声象位置移向声音较先传来的那个扬声器的方向。移动量大小与时间差的关系示于图 1-6 中。实践证明，当 $\Delta t > 3$ 毫秒时，声象将

固定在声音先传来的扬声器方向上。

此外，实验结果还表明，两个强度相同的声音，一先一后到达人的双耳时，只要时间差在 30 毫秒以下，聆听者就将总是感到声音似乎是从未经延迟的那个声源中发出的，而感觉不

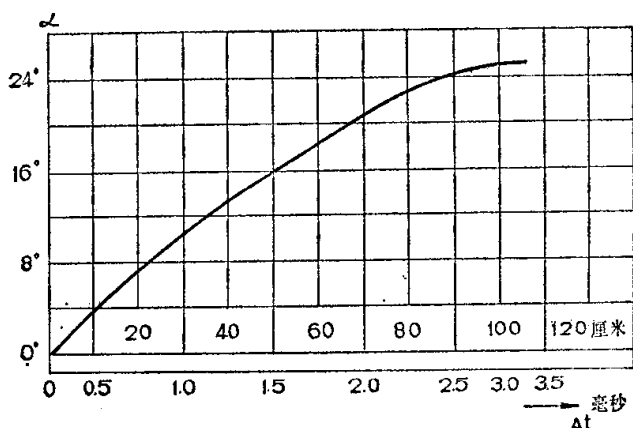


图 1-6 $\alpha \sim \Delta t$ 关系曲线

到有另一个声源存在。延迟时间在 30 毫秒至 50 毫秒之间时，聆听者仍感觉声音是来自未经延迟的声源，但已可以识别出延迟声源的存在。延迟时间超过 50 毫秒时，聆听者就可以听到一个清晰的回声了，这种现象称为声音的“优先效应”，也叫做“哈斯效应”。声音的优先效应与延迟声源的位置关系不大。当延迟时间还不足以导致产生回声时，延迟声源只是起着提高未经延迟声源发声响度的作用，并使聆听者感到声音更加丰满。但太长的延时会破坏声音清晰度。响度的增加和声功率增加成正比关系；当两个声源强度相等时，响度比一个声源增加 3 分贝（无规噪声的情况）。

3. 上述第一个实验中，如果两个扬声器对聆听者的张角 θ 变化，声象定位角 α 也随之改变，其关系如下：

$$\sin \alpha = \frac{I_L - I_R}{I_L + I_R} \sin \theta \quad (1-8)$$

此关系式称为声音定位的正弦定律。

4. 再看两个扬声器发出的声音同时具有声级差 ΔI 和时间差 Δt 的情况。当声级差产生的声象移动方向和时间差产生

的声象移动方向相同时，其综合效果产生的声象移动比单一因素作用下要大。反之，当声级差和时间差产生的声象移动方向相反时，总的声象移动量减少；适当地选取 ΔI 和 Δt ，则可使聆听者感觉到的声象仍位于两扬声器连线的中点。声级差和时间差在校正声象位置方面的特性如图 1-7 所示。从图中可见，当声级差 ΔI 在 15 分贝以下，时间差 Δt 在 3 毫秒以下时，二者的关系是线性的；5 分贝的声级差相当于 1 毫秒的时间差。

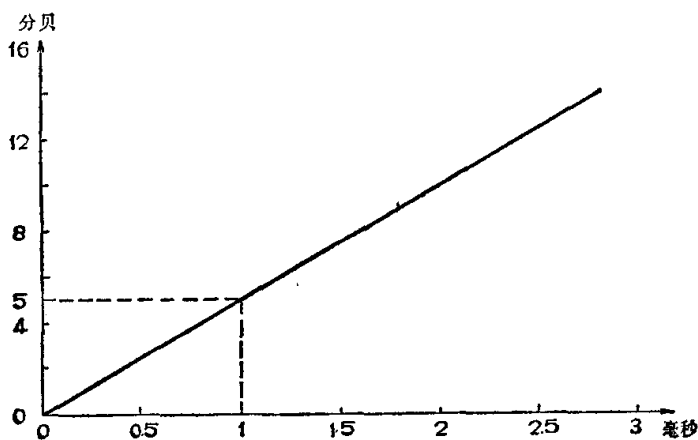


图 1-7 声级差和时间差的关系

5. 如果聆听者不在过两扬声器连线中点的垂直平面内时，也就是说聆听者和两扬声器不等距的话，自然就会存在时间差。实际上在聆听立体声时，若聆听者偏离对称位置较多（或定位时间差较大），较小的声级差就会造成声象位置很大的移动量，使声象模糊不清，甚至于单一的声象会分裂成两个，听觉质量较差。

6. 当两个扬声器所发声音的相位恰恰相反，即相位差为 180° ，而又有一定的声级差 ΔI 时，会发生一种饶有兴味的情况：聆听者感觉到的声象跑到扬声器外侧了，如图 1-8 所示。

这种现象称为“界外立体声”。

界外立体声现象可用声象定位的正弦定律来说明。由于两扬声器发声反相，公式 1-8 中的 I_R 应代之以 $(-I_R)$ ，这时 1-8 式变为：

$$\sin \alpha = \frac{I_L - (-I_R)}{I_L + (-I_R)} \sin \theta = \frac{I_L + I_R}{I_L - I_R} \sin \theta$$

出现了 $\alpha > \theta$ 的情况。

界外立体声现象具有实用价值，它可以使声舞台变宽。在便携式立体声装置中，由于两声道扬声器距离较近，立体声效果不明显，若把 L 声道的信号加到 R 声道扬声器上，同时把 R 声道信号加到 L 声道扬声器上，结果就出现了好似两扬声器距离变大的效果。这可用图 1-9 所示的矢量图说明。注意上面

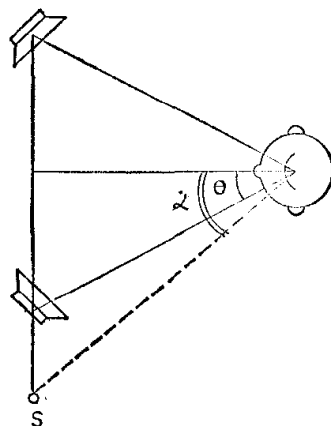
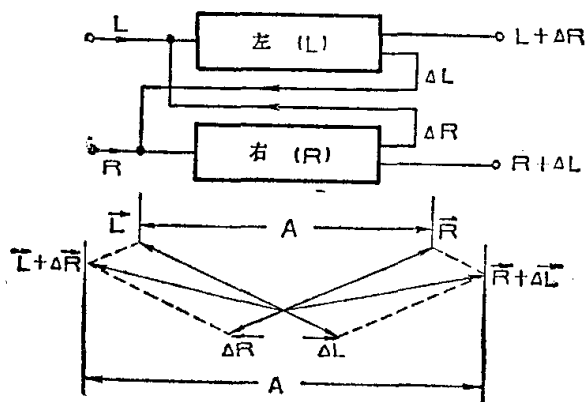


图 1-8 界外立体声



A ：原来的扬声器距离
 A' ：展宽后虚拟扬声器距离

图 1-9 界外立体声矢量关系图

的分析中，因为 $\sin \theta$ 和 $\sin \alpha$ 均不能大于 1， ΔI 的值并不能任意选取，其最小值与 θ 角有关，当然 ΔI 更不应选取零值（若 ΔI 为零，实验证明，这时声象将在聆听者背后正中位置）。

将上述双扬声器实验的结果归纳起来，可以看出，适当改变两个扬声器之间的声音差异，就能获得需要的声象位置。这就为声音的立体声重放创造了条件。现代双声道立体声重放技术就是根据这一原理发展起来的。