



高保真立体声 (III)

沈 喆

(中国科学院声学研究所)

1982年10月20日收

双通路立体声

高保真双通路立体声的节目源有三类：调谐器、唱片和磁带。立体声调谐器*接收调频广播的立体声节目。立体声唱片则把两路信息以机械能形式储存在槽纹中，声压的变化相应于唱片槽纹中线的位移，通过立体声电唱盘*来重放。立体声磁带使用录音座*把声音以剩磁形式储存或重放。上述三类节目的输出电信号都经过放大并进行必要的音质加工，最后用分开放置的两扬声器系统来重发声音。成套的双通路立体声系统如图1所示。三类节目源的录制技术和设备都较复杂，涉及的专业范围也很广，这里只讨论与声学技术有关的问题。

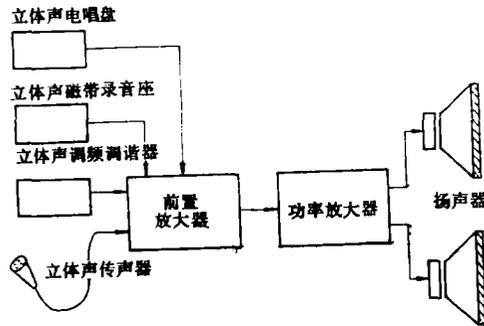


图1 成套双通路立体声系统

在双通路立体声系统中，除了用扬声器系统重放外，也可以用立体声耳机来重发声音。通过立体声耳机，对左右两只耳机单元送入不同信号，利用双耳效应产生立体感，可以辨别各个声源的位置。用耳机听节目有两个特点，首先是商品立体声耳机的音质和立体声效果都较

应用声学

好，但价钱比扬声器系统便宜得多。其次是耳机只供个人收听，既不受听音环境影响，也不妨碍别人。因此这种收听方式越来越受到人们欢迎。

三类节目源中，质量以密纹唱片为最好，某些调频电台常常用密纹唱片作节目源。使用最方便的是盒式录音机，但高质量的录音机价格很贵。三类节目源的主要特性列于表1。

表1 三类节目源的主要特性

名称	频率范围	非线性畸变
密纹唱片	40—16000Hz (或 20—20000Hz)	1%
盒式磁带	50—10000Hz (或 30—15000Hz)	3%
调频节目	50—14000Hz	1%

一、双通路立体声的拾音制式

根据所使用传声器的指向性和布置方法，双通路立体声的拾音制式可以分成 AB 制，XY 制和 MS 制。

AB 制式使用灵敏度和指向性都相同的两只传声器，相距大约 1.5—2m 以接收声音。每只传声器用独立的通路把信号放大后馈送给扬声器。如果两只传声器或扬声器之间的距离过大，当声源运动时听众会感觉到声音从一只扬声器跳到另一只扬声器。

*注：立体声调谐器和两通路功率放大器及扬声器装在一起称为立体声收音机。立体声电唱盘和两通路功率放大器及扬声器装在一起称为立体声电唱机。立体声录音座和两通路功率放大器及扬声器装在一起称为立体声录音机。

XY 制式使用两只指向性为 8 字形的传声器，放置在同一条垂直线上并使它们的最大灵敏度方向互相垂直。两只传声器的主轴和划分声场为两半的对称平面，形成 45° 夹角。每只传声器在用独立的通路放大后把信号馈送给扬声器。这种制式与 AB 制比较，其优点是时间差和相位差很小。在 XY 制中，也可以使用其它类型传声器组合，例如用两只心脏线形指向传声器。

MS 制式使用两只不同指向特性的传声器，即圆形和 8 字形指向传声器的组合，8 字形指向传声器的指向指向两侧。这时两只传声器把整个接收信息分成两个分量，一个是包含整个声场信息的分量 M，另一个是包含声场两侧信息的分量 S。信息分量 M 可以看作是 XY 制系统中两个信息分量之和 ($X + Y$)，而信息分量 S 看作这两个信息分量之差 ($X - Y$)。因此 MS 制的输出信号要用和差变换器把 M 和 S 信号恢复为 X 和 Y 信号，再分别用独立通路放大后馈送给扬声器。传声器组合也可以用心脏线形传声器和 8 字形传声器。由于这种系统中采用矩阵电路编码，有时也称编码制。

从放声系统来看，不论拾音制式如何，双通路立体声放声系统只有两类，即分离式 (AB 制和 XY 制) 和编码式 (MS 制)。由于编码式双通路立体声系统传输的是和信号和差信号，前者与单通路放声具有兼容性，故使用较普遍。应该指出，双通路放声和单通路放声的兼容性具有极大的实际意义和经济价值，它使新的放声系统和现有放声设备在较长时期内同时存在。原则上，上述不同拾音制式的双通路立体声都具有兼容性，但是每一种系统获得兼容性的条件不相同。在 AB 制中，如果把 A 信号和 B 信号相加，就获得整个声场信息，能保证单通路放声。在 XY 制中也一样，单通路放声应当用 ($X + Y$) 信息。由于在 XY 制中声音到达两只传声器的时间和相位相同，因此其兼容性比 AB 制要好些。在 MS 制中，获得兼容性的方法最简单，传输整个声场的信息分量 M 就可以直接供单通路系统放声。AB 制和 MS 制双通路立体声系统示于图 2，XY 制系统仅传声器指向性

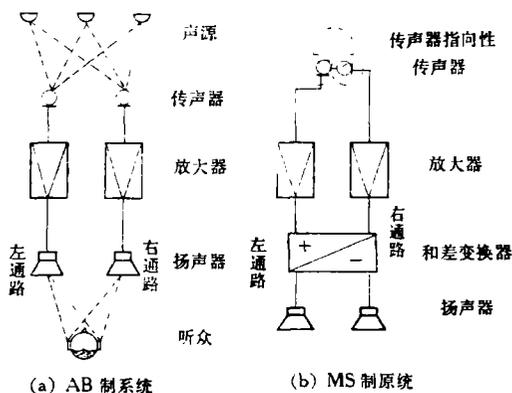


图 2 AB 制 (a) 和 MS 制 (b) 双通路立体声系统方块图

和布置方法不同。

二、磁带录音和放音

立体声磁带录音机是一种利用铁磁物质被磁化而保持剩磁的特性，根据电磁感应原理记录或重放立体声信号。它将立体声信号的两路信息分别用相应的磁迹记录在磁带上，重放时左右两通路的信号同步取出。各条通路具有包括磁头在内的独立录放通路。磁带运转机构和单通路磁带录音机完全相同。在双通路立体声中，最简单的工作方式是直接在磁带上记录左右两条通路的信息。这种录音方法具有容易记录、便于长期贮存、能多次重放和消去重录等优点。

双通路磁带录音机有盘式，卡式和盒式三类。这三类录音机由于所用磁带及运行方式不同，磁带尺寸和声迹分布不同，彼此之间没有兼容性。盘式录音机大多用于电台、电影和唱片等专业录音，其电声性能良好。磁带用 6.3mm 宽，少数携带式也有用 3.81mm 宽的。盘式录音机的带速有 38, 19, 9.5 和 4.75cm/s 等数种。按照磁带上声迹的分布可以分成两声迹双通路和四声迹双通路两种，如图 3 所示。其中双通路立体声使用的四声迹磁带上的第 1、3 声迹为 A 面，第 2、4 声迹为 B 面。卡式磁带录音机采用特殊的循环磁带，因此不能反转。如果卡式磁带录音时有错误，不能倒回改正而只能经快转，约需 4—10 分钟找到录错处，这样使磁带剪辑

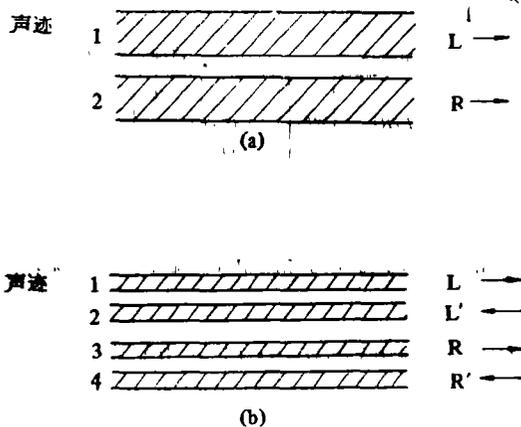


图3 盘式磁带上声迹的分布;
(a) 双通路两声迹, (b) 双通路四声迹。

非常麻烦。因此许多卡式录音机只设计成重放已录有节目的磁带。循环磁带装在特殊匣内,从内圈引出,经导带轮、控制电极、磁头、压带轮再返回磁带盘外圈使磁带的头尾相接。卡式录音机的带速为 9.5cm/s, 磁带宽 6.3mm, 有四声迹和八声迹两种。盒式磁带录音机的特点是用标准盒式带, 装拆方便。盒式磁带宽 3.81mm, 其上声迹分布考虑了能与单通路兼容重放, 与盘式磁带不同, 如图 4 所示, 其中第 1、2 声迹为

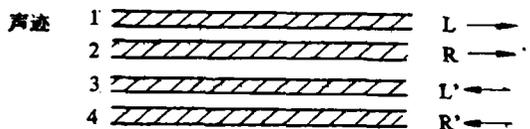


图4 双通路四声迹盒式磁带上声迹的分布

A面, 第 3、4 声迹为 B面。利用一个宽槽放音磁头同时重发两条通路的信息, 可以获得和普通盒式录音机的兼容性。各种盒式录音机的特

性如表 2 所示。它的品种很多, 其中大部分商品, 频响、信噪比和失真比一般收音机要好, 但不满足高保真技术条件。通常仅一级盒式磁带录音机才具有高保真立体声的特性。有些商品为了降低价格, 常常做成不带功率放大器的盒式录音座形式。有些商品则与收音机装在一起做成收录机, 它除了具有一般录音机的性能以外, 还可以在收听广播节目的同时把节目记录下来。为了提高盒式录音机的质量, 已经研制了一种大带盒式录音机, 带速为 9.5cm/s。它克服了小型盒式录音机的磁轨窄、抖动大、隔离度差和动态范围小等弱点, 同时兼有盒式录音机的高性能和方便性。

盒式磁带是一种带宽为 3.81mm 的超薄型磁带, 它卷在一个塑料盒内的两个轴上, 连轴一起密封在 100 × 64 × 12mm 的塑料盒里。按照磁粉材料, 主要分成低噪声磁带, 二氧化铬磁带, 铁铬双涂层磁带, 金属粉磁带等。利用不同磁粉和加工工艺制成的盒式磁带的特性差别很大, 使用时应该注意它们的差别。各种盒式磁带需要的偏磁和均衡电路也不同, 在盒式磁带录音机上设有“偏磁和均衡选择开关”。盒式磁带还有一个重要特性, 在磁带盒背面设置了防误抹片, 可以防止不小心将录制好的原声带误抹掉。在盒式磁带录音机内, 有一个防误抹连锁装置, 当去掉防误抹片时, 磁带就不能消磁和录音。

磁带上的背景噪声使录音放音后信噪比降低, 动态范围变小。盒式磁带录音机的设计必须牺牲信噪比来换取宽的频率响应。1969 年杜比工程师设计了降噪系统, 1971 年这种降噪

表 2 各种盒式录音机的主要特性

名称	一级	二级	三级
带速, cm/s	4.75	4.75	4.75
机械噪声, dB(A)	35	42	42
频率响应和均匀度	31—16000Hz; 2dB 60—10000Hz; 4dB	63—8000Hz; 6dB 125—6300Hz; 8dB	125—6300Hz; 6dB 250—3150Hz; 8dB
信噪比, dB; 单通路	48	40	35
双通路	51	43	38
谐波畸变, %	2	3	5

方案为高质量磁带录音机(4.75cm/s带速)的发展铺平了道路。到1976年盒式磁带录音机就成为家庭用品,它的质量高,价钱便宜,使用方便,从而得到流行。目前实用的降噪系统有两种,一种是美国的杜比降噪系统,另一种是日本的自动噪声降低系统,它们的原理基本相同。在录声时作频响预校,把高频信号加强,加强的程度和信号电平大小有关。对于最强的信号,高频响应不加强,对弱信号则加强较多。放音时上述过程相反,用电压控制放大器的增益,使高频响应复原。这种措施使5kHz以上的信噪比大约增加10dB。

三、立体声广播

由于调频广播比调幅广播的频带宽,音质好,信噪比高,抗干扰能力强;因此高保真立体声广播往往采用调频广播。1961年美国实现了立体声调频广播,到七十年代立体声广播已经几乎普及于世界各国。我国进行立体声广播的时间比较短,1980年黑龙江台首先开始立体声广播的试播,目前广州、上海、天津、北京等地也已试播立体声节目。实用的立体声广播制式主要有三种:第一种是美国、日本等国家采用的AM-FM导频制,第二种是苏联及东欧少数几个国家使用的极化调制制,第三种是瑞典采用的FM-FM制。我国立体声广播采用目前国际上比较通用的AM-FM导频制。由于立体声广播节目的保真度很高,用它进行音乐广播受到了听众欢迎。

导频制立体声广播是把左和右通路信号编码为(L+R)和(L-R)信号,其中(L-R)信号先用平衡调幅技术调制于副载频,然后和主信号(L+R)一起用调频方式广播。由于发射信号中还包含着一个导频信号,所以也称导频制。副载频采用38kHz,导频信号为19kHz,它用来供收音机进行倍频,成为38kHz信号供同步解调用。调频广播的波段在88—108MHz范围内。

在发射机中,L和R信号都经过预加重,然

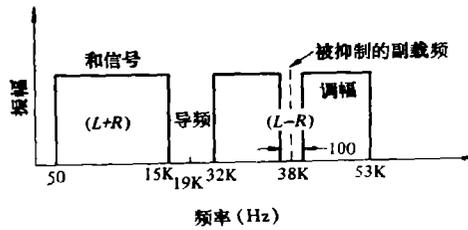


图5 导频制立体声广播中立体声复合信号的频谱。

后送入矩阵电路编码为(L+R)和(L-R)信号。(L+R)主信号的频带为50—15000Hz,另外以38kHz为副载频把(L-R)信号进行平衡调制,抑制掉38kHz副载频,其频带为23—53kHz。为了在接收时实现同步解调,还同时传送一个19kHz的导频信号。电台发送的立体声复合信号频带为50Hz—53kHz,其频谱如图5所示。

导频制立体声广播具有兼容性。用普通调频收音机接收立体声广播时,鉴频后只取出15kHz以下的主信号(L+R)作单通路重放,但无立体感。反之,立体声调频接收机也可以收听普通调频广播。立体声调频收音机的高放、变频、中放和鉴频完全与普通调频收音机的部件相同,经鉴频获得立体声复合信号,再用解码器选出(L+R)和(L-R)信号,然后经和差变换器获得相应于双通路立体声的L和R信号。这两路立体声信号经去加重网络校正,再分别用独立的通路放大,随后馈送给扬声器。在立体声调频收音机中还利用19kHz导频信号点亮一只指示灯,用以指示正在接收的电台是进行立体声广播。

调频调谐器声频部分的典型特性如下:频率范围30—15000Hz,±1dB;信噪比为60dB,总谐波失真为1%,互调畸变为1%,选择性为60dB。

四、立体声唱片的发声

唱片是一种录有声信息的圆片形载声体,可以用唱机重发。载有两条通路声信息的唱片称为立体声唱片,放唱片时需用两条独立的通

路放大并由两只扬声器发声。早期曾广泛使用过 78 转的粗纹唱片，但由于它的放唱时间短，频率响应窄，表面噪声大等缺点，已逐渐为密纹唱片代替。在磁带录声中，立体声信号通常直接采用多通路方法，磁带上的声迹数等于通路数。但是对于唱片录音，这种方法技术问题很多。因为在唱片上切割几条平行槽纹并且在录声和放声时使它们完全同步非常困难。目前立体声唱片采用的是 $45^\circ/45^\circ$ 刻纹制式。唱片上槽纹的两侧壁形成 90° 角，靠唱片中心一边按左通路 L 信号调制，而靠外侧一边按右通路 R 信号调制，切割方向与中心线的夹角都是 45° ，因此 L 和 R 信号的振动方向是互相垂直的。放声时使用两个互相垂直装置的换能器拾取双通路信息。因此在一条槽纹内就可以记录两条通路的信号。

在立体声节目中，左信号和右信号基本相同，刻录唱片一般在纵向进行，纵向分量基本抵消，放声时容易产生失真。因此通常将刻纹头中一条通路的线圈反接，倒转其相位，使刻录主要在横向进行。为了解决与普通唱片的兼容性，录声时也需要将左、右两路信号中任一个信号的相位反转，这样使两信号之差 ($L - R$) 变作纵向振动，而两信号之和 ($L + R$) 变作横向振动。后者与单通路横向录音的普通唱片振动方向一致，因此这种 $45^\circ/45^\circ$ 制式的立体声唱片也可以用普通拾音器来放唱。在作立体声重放时，必须将立体声拾音器两路输出中的任一路相位反转以恢复录声时的反转相位。实际上，商品立体声拾音器常常已经将其中一条通路的相位反转。立体声唱片通常用每分 $33 \times 1/3$ 转的密纹唱片。由虫胶和石粉混合物做成的密纹唱片具有频率范围宽，失真小，动态范围大，表面噪声低，放唱时间长等优点。另一种用聚氯乙烯塑料压制成型的普及型密纹唱片的质量较差，比高保真度要求要低一些。

唱片常被用作高保真节目源，因此高质量唱机也获得相应发展。要求电唱盘的驱动系统以规定速度无振动地旋转，任何振动被拾音器检拾，都会引起转盘噪声。转盘速度的轻微变

化，会引起声音音调的改变。小于 10Hz 的速度变化称“晃”，更快一些的速度变化则称“抖”。

立体声拾音器是重放立体声唱片用的力电换能器，它由一枚唱针与两只互成直角的换能器组成，唱针随唱片槽纹作 $45^\circ/45^\circ$ 合成运动，两只换能器互不干扰地分别拾取左和右通路信号。常用的立体声拾音器有动圈式和电磁式，阻抗已经标准化为 $47k\Omega$ 。对于拾音器臂要求有良好的消除内侧应力和循迹畸变的措施。唱针用循迹效果良好的椭圆形金钢钻针。为了适应不同唱片重放时的效果，国际电工委员会 (IEC) 对各类唱片推荐了合适的唱针。立体声唱片用的唱针针尖半径为 $0.013 - 0.018\text{mm}$ ，颜色标志是兰色，针压要求低于 1.5g。

唱片录声时为了抑制唱片的表面噪声，改善信噪比，常采取高频预加重。当录音信号高于 2120Hz 时，录音的振速将随频率的升高而增加，相应时间常数约 $75\mu\text{s}$ 。为了防止频率下降时振幅增大而造成唱片上相邻槽纹合并，要求在低频时录音振速随频率降低而减弱，此外，为了减少重放唱片时出现频率 25Hz 以下的转盘噪声，还应在低到 50Hz 时使录音振速随频率的降低稍有增加。因此在唱片的放声系统中应该加均衡网络以获得平直的频率特性。国际电工委员会已规定了密纹唱片的录声标准，如表 3 所示。放声时使用的均衡网络应该具有与录声标准相反的频响，通常它由三节时间常数分别为 75, 318 和 $3180\mu\text{s}$ 的 RC 网络组成。

表 3 IEC 密纹唱片的录声标准

频率 (Hz)	电压 (dB)	频率 (Hz)	电压 (dB)
20	-19.3	3000	+ 4.7
30	-18.6	4000	+ 6.6
50	-17.0	5000	+ 8.2
70	-15.3	6000	+ 9.6
100	-13.1	7000	+10.7
200	- 8.3	8000	+11.9
300	- 5.5	9000	+12.9
400	- 3.8	10000	+13.7
700	- 1.2	12000	+15.3
1000	0	14000	+16.6
2000	+ 2.6	15000	+17.2