



高保真 音箱 制作技术

福建科学技术出版社



责任编辑 唐 琪
封面设计 陈培亮
责任校对 林锦春

ISBN 7-5335-1800-4



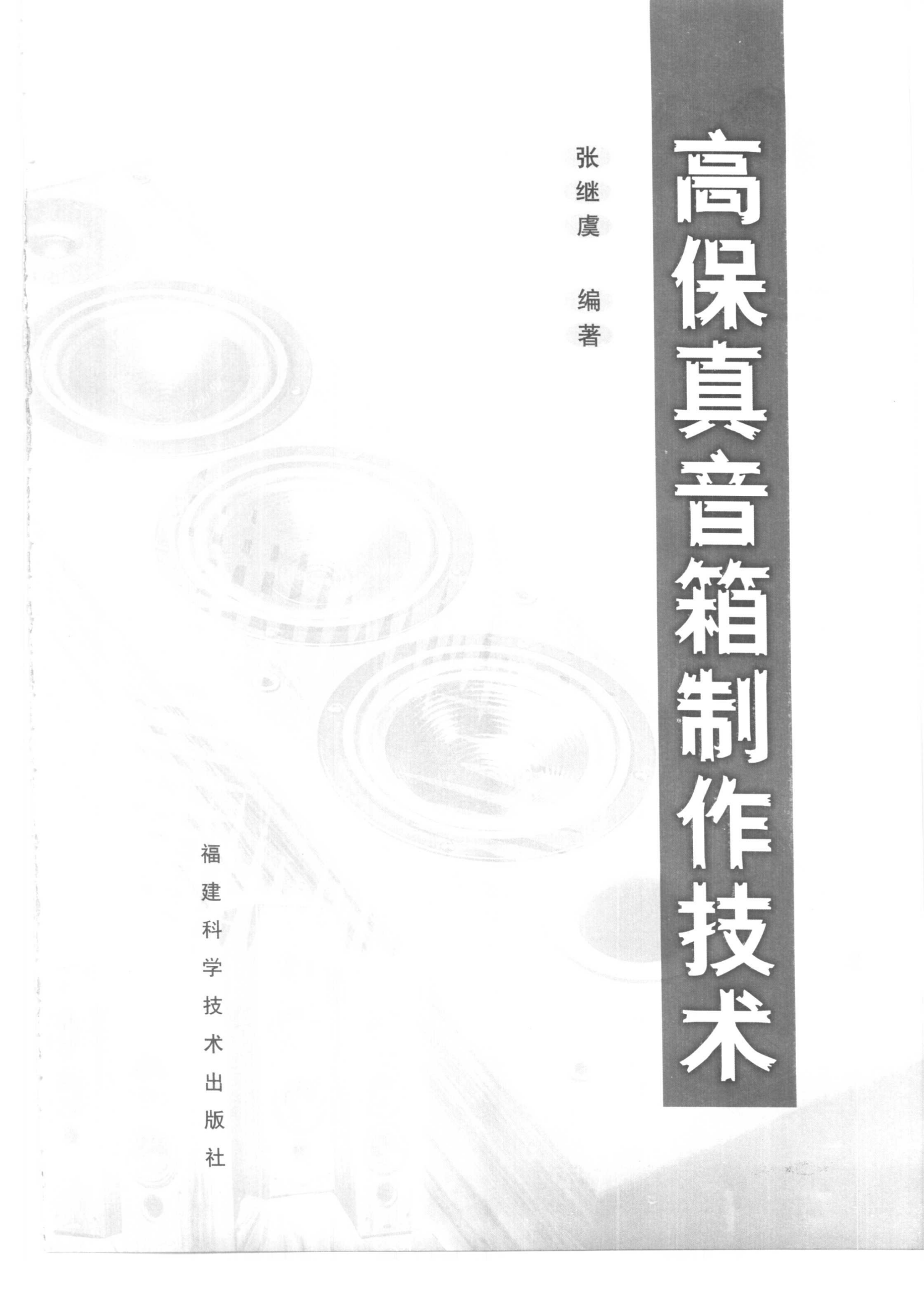
9 787533 518004 >

ISBN 7-5335-1800-4/TN·242
定价:17.50 元

高保真音箱制作技术

张继虞 编著

福建科学技术出版社



图书在版编目(CIP)数据

高保真音箱制作技术/张继虞编著. —福州:福建科学技术出版社,2001.10(2002.5重印)

ISBN 7-5335-1800-4

I. 高… I. 张… III. 扬声器系统-制作
N. TN912.26

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 044866 号

书 名 高保真音箱制作技术
作 者 张继虞
出版发行 福建科学技术出版社(福州市东水路 76 号,邮编 350001)
经 销 各地新华书店
排 版 福建科学技术出版社排版室
印 刷 福建地质印刷厂
开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张 10.5
字 数 267 千字
版 次 2001 年 10 月第 1 版
印 次 2002 年 5 月第 2 次印刷
印 数 4 001—7 000
书 号 ISBN 7-5335-1800-4/TN·242
定 价 17.50 元

书中如有印装质量问题,可直接向本社调换

前 言

高保真音响系统和家庭影院系统是这几年国内市场的消费热点。随着人们经济条件的逐步改善和文化艺术水平的不断提高，人们对视听器材的要求也越来越高。各种 DVD、MD、DAT 播放机的问世，在很大程度上满足了人们对信号源的使用需求。各种设计先进、性能优良的高保真双声道功率放大器以及内置 Dolby Digital、DTS 解码器的多声道家庭影院功率放大器的出现，又在很大程度上给广大消费者带来了更大的选择余地。音箱是整个音响系统的喉舌，无论是高保真音响系统还是家庭影院系统都离不开一套性能优良的音箱，音箱性能指标的好坏，直接影响到整个高保真音响系统和家庭影院系统的声音重放质量。

音箱是一种个性很强的电声器材。目前市场上音箱的品牌很多，细心的音响爱好者在挑选音箱时一定会发现，这些不同品牌的音箱有各自不同的音色。即使是同一档次甚至同一品牌的音箱，在相同的声学环境下它们的音色也会有明显的差异。每个人的生活经历、文化艺术修养和听音爱好都互不相同，就像每个人对自己的衣着打扮有不同的审美标准一样，人们对同一对音箱的评价常常会有不同的看法，有时甚至可能是两种截然不同的看法。目前市场上音箱的品牌、款式确实不少，但对于一些酷爱音乐和嗜好音响的消费者来说，由于受各种原因的限制，很难在市场上找到一款完全适合自己需求的音箱。在这种情况下，他们往往更热衷于自己动手制作音箱。从表面上看，制作一对音箱似乎很简单，买几只扬声器单元，再配上一只分频器，然后把它们安装固定在一只箱体上，只要接线正确，这对音箱一定会响。但是，如果您要制作一套听感好、具有一定技术指标的音箱，问题就不那么简单了。你必须在扬声器单元的选择、搭配，分频网络的计算和箱体内容积的确定等方面花很大的功夫。音箱安装完毕后必须进行调试，大多数业余音响爱好者缺乏必要的测试设备，这就需要在扬声器单元的选择、箱体的设计和制作工艺上多下些功夫，这样往往能得到事半功倍的效果。另外，要注意日常生活中听音经验的积累，特别是将不同品牌音箱进行对比试听，这样你就会逐渐听出这些音箱在音色上的差异，并发现一些音箱在音质上存在的缺陷。这种听音能力的训练对音箱的制作和调试，特别在缺乏测试设备的业余条件下是十分重要的。只要根据自己的听音经验反复对音箱进行调整，就能使音箱的电性能和声性能日趋完善。

本书的第一部分对各种扬声器单元的工作原理和结构特点作了详细的介绍，着重介绍了不同扬声器单元的性能特点、主要技术参数、测试方法及合理选择。分频网络是音箱的重要组成部分，本书的第二部分对分频网络的工作原理、分频网络中各种电抗元件的作用和结构特点，不同阶数分频网络的性能特点和设计计算方法作了详尽的介绍。本书的第三部分介绍了各种音箱的结构和工作原理，及音箱设计、制作和调试。随着计算机应用的日趋普及，各种音频测试软件和音箱 CAD 设计软件纷纷问世，给业余音响爱好者的音箱设计、制作和调试带来了很大的方便。为此，书中对国内外一些最新的音频测试软件和音箱 CAD 设计软件作了适当的介绍。本书的附录有选择地收编了国内外一些主要扬声器单元生产厂家的扬声器单元的性能参数表、部分品牌音箱的制作图纸以及一些必要的技术资料。

本书在编写过程中参阅了大量的国内外有关技术资料，上海电器科学技术研究所消声室的高级工程师陈业绍先生，室主任、高级工程师施庆圆女士以及张振兰女士协助进行了大量

的测试工作；上海银笛领先音响仪器有限公司总经理葛始建先生、工程师刘同森先生为本书的编写、资料的采集提供了很大的方便；周莺女士、周春晓先生和许慧芬、华敏小姐为本书的打印、制图做了大量的工作，在此表示感谢。

由于电声技术发展迅速，新材料、新技术不断得到开发和应用，各种性能优良、款式新颖的扬声器单元和音箱不断问世，各种音频测试和音箱 CAD 软件版本不断更新，更限于自己的专业技术水平，因此，书中的缺点和错误必然不少，诚恳希望前辈和广大读者批评指正。

作 者

2001 年 3 月

目 录

一、扬声器单元.....	(1)
(一) 扬声器单元工作原理.....	(1)
1. 电动式扬声器	(1)
(1) 锥形扬声器	(3)
(2) 平板扬声器	(7)
(3) 球顶扬声器	(8)
(4) 同轴扬声器.....	(10)
(5) 带式扬声器.....	(12)
(6) 号筒式扬声器.....	(13)
2. 静电式扬声器	(14)
(二) 扬声器单元主要技术参数	(15)
1. 阻抗	(16)
(1) 阻抗特性.....	(16)
(2) 额定阻抗.....	(17)
2. 谐振频率	(19)
3. 品质因数	(20)
4. 振动系统等效质量	(21)
5. 等效容积	(22)
6. 功率	(23)
(1) 额定正弦功率.....	(23)
(2) 额定噪声功率.....	(24)
(3) 长期最大功率.....	(24)
(4) 短期最大功率.....	(24)
7. 频率特性	(24)
(1) 频响曲线.....	(24)
(2) 有效频率范围.....	(26)
(3) 不均匀度.....	(26)
8. 灵敏度	(27)
(1) 特性灵敏度级.....	(27)
(2) 平均特性灵敏度.....	(27)
9. 失真	(27)

(1) 谐波失真.....	(27)
(2) 互调失真.....	(28)
(3) 瞬态失真.....	(29)
10. 指向性	(29)
11. 最大线性位移体积	(29)
(三) 扬声器单元测试	(31)
1. 扬声器参数快速测量系统	(32)
2. 意大利 CLIO 电声测试系统	(34)
3. 德国 DAAS 3 L 音频测试系统	(35)
(四) 扬声器单元选择	(39)
1. 低频扬声器单元选择	(40)
(1) 功率承受能力.....	(40)
(2) 失真和线性位移.....	(41)
(3) 低频特性.....	(42)
2. 中频扬声器单元选择	(42)
(1) 频率范围和不均匀度.....	(43)
(2) 中低频扬声器灵敏度与音色匹配.....	(43)
3. 高频扬声器单元选择	(44)
(1) 频率响应和灵敏度.....	(44)
(2) 高中频扬声器音色匹配.....	(44)
二、分频网络.....	(46)
(一) 分频网络中电抗元件	(46)
1. 电容器	(46)
2. 电感器	(48)
3. 自复保险丝	(50)
(二) 分频网络工作原理和作用	(53)
(三) 分频网络设计和计算	(56)
1. 分频网络分频频率选取	(56)
(1) 扬声器单元频响特性.....	(57)
(2) 听觉敏感中频段.....	(57)
(3) 扬声器单元指向性特性.....	(58)
(4) 扬声器单元在箱体上位置.....	(59)
2. 一阶分频网络设计与计算	(59)
3. 二阶分频网络设计与计算	(62)

4. 三阶分频网络设计与计算	(65)
5. 四阶分频网络设计与计算	(67)
6. 谐振频率处阻抗补偿	(68)
7. 阻抗曲线高频段阻抗补偿	(69)
8. 衰减器	(70)
(四) 分频网络设计实例	(72)
(五) 分频网络调试	(74)
三、音箱	(76)
(一) 音箱结构和工作原理	(76)
1. 封闭式音箱	(77)
2. 倒相式音箱	(78)
3. 声曲线式音箱	(80)
4. 带通式音箱	(80)
5. 被动辐射式音箱	(81)
(二) 音箱设计	(82)
1. 封闭式音箱设计	(83)
(1) 确定谐振频率和品质因数	(83)
(2) 确定扬声器系统声顺比	(84)
(3) 计算音箱有效容积	(87)
(4) 确定音箱箱体尺寸	(87)
2. 倒相式音箱设计	(89)
(1) 确定音箱系统声顺比和调谐比	(90)
(2) 计算音箱箱体容积	(94)
(3) 确定倒相管参数	(94)
3. 带通式音箱设计	(96)
(1) 单开口音箱设计	(96)
(2) 双开口音箱设计	(97)
4. 被动辐射式音箱设计	(98)
(1) 低频扬声器选择	(98)
(2) 查表求声顺比和调谐比	(98)
(3) 求出箱体容积	(99)
(三) 音箱设计实例	(99)
1. 图表法设计实例	(99)
2. CAD 设计实例	(100)

(四) 音箱箱体制作	(103)
1. 箱体材料选择	(103)
2. 放样和落料	(103)
3. 箱体拼装和表面处理	(104)
(五) 音箱调试	(105)
1. 封闭式音箱调试	(105)
2. 倒相式音箱调试	(112)
(六) 音箱制作实例	(115)
1. 二分频书架式音箱制作	(115)
2. 落地式三分频音箱制作	(120)
3. YDE643 四单元三分频落地式音箱制作	(124)
4. YDT833 二分频同轴音箱制作	(126)
5. YDC822 二分频书架式音箱制作	(127)
附录	(130)
(一) 部分扬声器单元技术资料	(130)
1. 南鲸扬声器单元技术参数表	(130)
(1) 低频扬声器	(130)
(2) 中频扬声器	(132)
(3) 高频扬声器	(132)
2. 银笛扬声器单元技术参数表	(133)
(1) 高频扬声器	(133)
(2) 中频扬声器	(134)
(3) 低频扬声器	(134)
3. T&T 扬声器单元技术参数表	(136)
(1) 高频扬声器	(136)
(2) 中频扬声器	(138)
(3) 低频扬声器	(138)
4. 德国 ETON 扬声器单元技术参数表	(140)
(1) 高频扬声器	(140)
(2) 低频扬声器	(141)
5. 英国 MOREL 扬声器单元技术参数表	(143)
(1) 高频扬声器	(143)
(2) 中频扬声器	(145)
(3) 低频扬声器	(146)

(二) 扬声器分频网络技术资料	(149)
1. 银笛分频器技术参数表	(149)
2. T&T 分频器技术参数表	(150)
(三) 部分典型音箱技术资料	(151)
1. 惠威 Dul'cet, SWANS 扬声器系统	(151)
(1) Dul'cet 扬声器系统参数表	(151)
(2) SWANS 扬声器系统参数表	(152)
(3) Dul'cet, SWANS 家庭影院扬声器系统参数表	(152)
2. 银笛扬声器系统	(153)
3. 南鲸扬声器系统	(153)
(四) 部分品牌电容器主要技术性能	(154)
1. 天和 CD71 型双极性铝电解电容器	(154)
(1) 主要技术性能	(154)
(2) 标称电容量、额定电压、外形尺寸对应表	(154)
2. 天和 CD94、CD95 型双极性音响分频专用铝电解电容器	(155)
(1) 主要技术性能	(156)
(2) CD95 型标称电容量、额定电压、外形尺寸、分频频率及纹波电流对应表	(156)
3. SPIRIT 双极性铝电解电容器	(156)
(1) 卧式双极性电解电容	(156)
(2) 立式双极性电解电容	(157)
4. SPIRIT 金属化聚酯薄膜电容器	(157)
5. SPIRIT 金属化聚丙烯电容器	(158)

一、扬声器单元

扬声器俗称喇叭,它的作用是将音频电信号转换成声信号并向周围空气媒介辐射声音。扬声器是一种使用相当广泛的电声器件,除了用于我们熟悉的收音机、电视机和各种家庭音响设备外,在其他生活领域也得到相当广泛的应用。扬声器在电影院、剧场中的应用最为典范,为了获得最佳音响效果,在剧场内部的不同位置装有一组或数组音箱,人们观看电影时的那种身临其境的真实感很大程度上就是由这些音箱产生的,扬声器单元则是这些音箱的核心部分。

(一) 扬声器单元工作原理

扬声器是一种能量转换器,它的作用是将电能转换成声能并辐射出去。扬声器的分类方法很多:根据扬声器的用途,一般可将扬声器分为低频扬声器、中频扬声器、高频扬声器和全频带扬声器4种;根据扬声器将电能转换成机械振动的形式,可以把扬声器分成电磁式扬声器、压电式扬声器、电动式扬声器、静电式扬声器、NXT平板扬声器以及目前仍处于试验阶段的数字式扬声器等;根据扬声器的磁路结构,可以将扬声器分为内磁式和外磁式扬声器。尽管这些扬声器的结构互不相同,但它们的基本工作原理却大致相同,它们都必须通过不同的方式使输入扬声器的交变音频电信号转变成辐射器的相应机械振动,这种机械振动通过辐射器引起周围空气媒质的波动,从而实现电-力-声之间的转换。电磁式扬声器在19世纪四五十年代使用广泛,以后随着扬声器制造技术以及磁性材料的不断发展,这种老式的电磁式扬声器早已被性能优异的电动式扬声器取代。压电式扬声器是一种利用压电材料逆效应工作的扬声器,它的主要部件是一片圆形的压电晶体。当音频电信号输入压电式扬声器时,压电晶体会发生形变,引起周围的空气振动,将音频电信号转换成声信号。压电式扬声器灵敏度高,结构简单,造价低廉,但是其音质较差,重放失真也较大。因此,压电式扬声器目前仅在一些要求不高的汽车音响或组合音响中作为辅助高频单元使用。电动式扬声器具有频响宽、音质好等优点,目前它在各种扬声器应用领域内使用最为广泛。静电式扬声器是一种新的电声器件,它具有比电动式扬声器更加优越的中高频特性和瞬态响应,目前在一些高档的扬声器系统中已逐步得到应用。NXT平板扬声器是1997年研制成功的新型扬声器,它也是通过音圈进行电磁转换,与传统的锥形扬声器相比,不同的是采用特殊的平板振膜代替传统的锥盆进行发声。这种NXT扬声器的最大特点是发声板可以做得很薄,有利于扬声器向超薄型、平面型发展,具有很大的发展前途。

1. 电动式扬声器

电动式扬声器根据其辐射方式可分为直接辐射式、间接辐射式、耳机式和海尔式4种。直接辐射式扬声器根据其振膜的不同形状可分为锥形扬声器、平板扬声器、球顶扬声器和带式扬声器;间接辐射式扬声器则主要有号筒式扬声器。

声音是由物体的振动产生的。如果仔细观察音箱上的低频扬声器单元,就会发现扬声器

工作时它的锥盆会前后振动。事实上，任何扬声器单元工作时它的锥盆或振膜都在振动，只是有时它们的振幅太小，不易被我们察觉而已。功率放大器输送给扬声器的是音频功率电信号，那么扬声器是如何将这些音频功率电信号转换成声音的呢？这就涉及到一个如何将电信号转换成声信号的问题。电动式扬声器并非直接将输入的电信号转换成声信号，而是先将电能转换成机械能，再将机械能转换成声能。扬声器是如何将电能转换成机械能的呢？我们知道，载流导体在磁场中会受到磁场力的作用，假设我们将一根载流导线放在图 1-1 所示的均匀磁场中，导线的方向与磁场的磁力线方向垂直，电流的方向由外流进书本。由于磁场中的磁力线方向始终从 N 端指向 S 端。通电导体受力的方向和磁力线方向、电流方向之间的关系可以用左手定则来描述：伸开左手，使大拇指跟其余

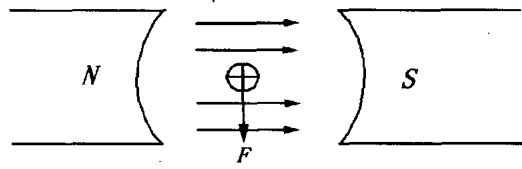


图 1-1 磁场对载流导体的作用

4 个手指垂直，并且都跟手掌在一个平面内，把左手放入磁场中，让磁力线垂直穿入手心，并使伸开的四指指向电流的方向，那么，拇指所指的方向，就是载流导线在这个均匀磁场中的受力方向。当导线中电流的方向改变时，该载流导线在均匀磁场中受到的力也相应改变。目前广泛使用的电动式扬声器就是根据这个原理制成的。

图 1-2 是电动式扬声器的工作原理图。图中的磁体是一块圆环形的永磁磁体，它有两个固定的磁极 S 和 N 极。磁体的两侧有上下两块金属导磁板，通过图中的磁极心形成一个磁回路，并在上导磁板和磁极心之间形成一个很小的磁气隙。我们假设图中磁体与上导磁板接触的一侧为 S 极，与下导磁板接触的一侧为 N 极，那么，在磁体的极心和上导磁板之间的磁气隙中便产生一个均匀磁场，磁场中磁力线的方向由 N 极指向 S 极，即由极心指向上导磁板。假设某一瞬间右边音圈中音频电流的方向是自我们流入书本，如图 1-1。根据左手定律，将左手手掌朝向 N 极，使伸直的四指指向与电流方向相同，那么，与四指垂直的拇指方向即为音圈的运动方向，即这时扬声器音圈受到一个向下的力 F。当音频电流的方向改变时，音圈的受力方向也发生相应变化。这个力 F 的大小与音圈中流过的电流 I、磁气隙中的磁感应密度 B 和音圈线圈的等效总长度 l 成正比。即：

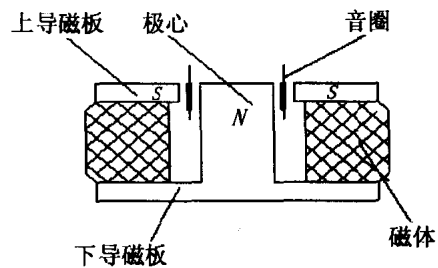


图 1-2 电动式扬声器的工作原理图

$$F = B \times I \times l \tag{1-1}$$

式中： F 为磁场对扬声器音圈的作用力，单位为 N。

B 为磁气隙中的磁感应密度，单位为 Wb/m^2 。

l 为音圈导线的长度，单位为 m。

I 为流经扬声器音圈的电流，单位为 A。

扬声器磁气隙中的磁感应密度 B 和音圈线圈的等效总长度 l 在扬声器设计制造过程中一经确定即成为常数，因此当音频信号电流经过扬声器音圈时，音圈将受到一个与音频信号电流 I 成正比的力。由于扬声器音圈与锥盆刚性地联接在一起，当音圈在磁气隙中随音频电流方向的不断改变而上下振动时，扬声器锥盆将随着音圈的上下振动而振动。锥盆振动的快慢与

输入的音频电流的频率相同，锥盆振动的幅度则与输入的音频电流的强弱成正比。锥盆的往复振动引起周围空气的疏密变化，从而向周围辐射声波，声波传入人耳就形成我们平时所听到的声音。

(1) 锥形扬声器

锥形扬声器是目前应用最广泛的电动式扬声器。锥形扬声器根据锥盆形状的不同有圆形扬声器和椭圆形扬声器两种。椭圆形扬声器的锥盆呈椭圆形或准椭圆形，这种扬声器在安装位置有限制的情况下能尽可能扩大振膜的有效面积，改善扬声器单元的低频响应。椭圆形扬声器目前在电视机和汽车音响中使用较多。圆形扬声器的标称尺寸通常用扬声器盆架的最大直径表示，椭圆形扬声器的标称尺寸则用椭圆的长短轴表示，单位用 mm 表示，习惯上常用英寸表示，两者之间的关系是 1 英寸约等于 25.4mm。如我们平时所说的 8 英寸扬声器，它的盆架外径为 200mm；4×6 英寸扬声器的盆架尺寸为 100mm×160mm。锥形扬声器具有结构简单和价格便宜的优点，因此目前收录机、电视机以及不少 Hi-Fi 音箱仍大量使用锥形扬声器。

锥形扬声器是一种直接辐射式扬声器，它通过一个呈圆锥形的锥盆直接向周围空间辐射声波。锥形扬声器的基本结构如图 1-3 所示。一只完整的锥形扬声器可分成振动系统、磁路系统和辅助系统三大部分。振动系统由锥盆、折环、定位支片、防尘罩和音圈组成；磁路系统由磁体、上导磁板、下导磁板、磁极心组成；辅助系统则由盆架、压条、引出线和接线端片等构成。锥形扬声器锥盆的有效振动面积可以做得较大，并且可以有较大的振幅，因此，锥形扬声器具有良好的低频响应。目前市场上的低频扬声器产品仍以锥形扬声器为主。

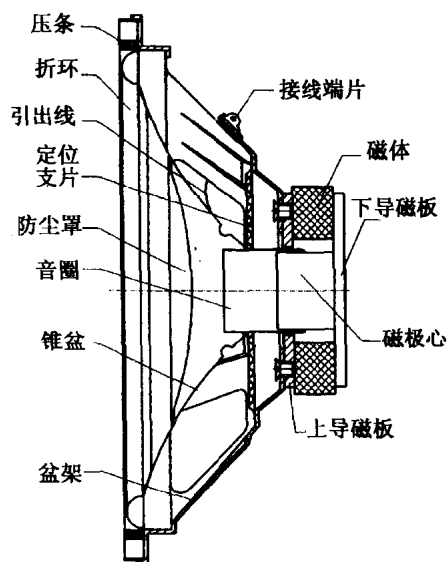


图 1-3 锥形扬声器的基本结构

锥盆是一种圆形或椭圆形的锥形振膜，它的根部与音圈骨架刚性连接，当音圈在磁气隙中垂直振动时它即作相应的轴向运动，使锥盆前后的空气发生疏密变化。锥盆是扬声器的主要发声部件，在一定程度上决定了扬声器的有效频率范围和失真大小。根据锥盆纵剖面的不同形状，锥形扬声器的锥盆可以分为直线形、抛物线形和指数形 3 种，它们的纵剖面如图 1-4。这 3 种形式的锥盆在电声性能上各有所长，其中以指数形锥盆使用最为广泛。一般来说，锥盆的形状越平坦，扬声器的频率响应也就越平坦。但是，锥盆越平坦，它的刚性就越差，扬声器的失真也会随之增大。锥盆的顶角越小，扬声器的高频辐射能力越强，频率响应也就越宽。

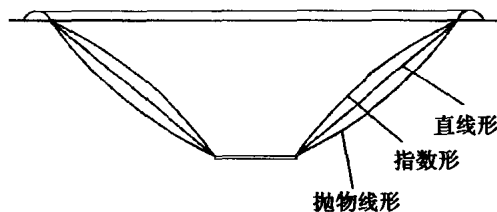


图 1-4 3 种不同形状的扬声器锥盆

锥形扬声器是靠锥盆的上下振动发声的。在低频时整个扬声器的振动系统作整体运动，扬声器的频率响应十分平坦。这时锥盆在扬声器盆架上的上下垂直运动很像发动机中活塞在气缸里的上下运动，通常我们称它为锥盆的活塞运动。但是，受锥盆强度的影响，随着扬声器工作频率的升高，锥盆会出现一定程度的扭曲

变形，使扬声器锥盆的整体刚性运动遭到破坏，整个锥盆不同部位之间出现相对运动，锥盆不同部位之间的这种运动称为锥盆的分割振动。这时，扬声器的振动系统将出现共振和反共振，使扬声器出现中频谷点；当扬声器的工作频率高于某一频率时，锥盆的这种扭曲变形情况会显得更为严重，扬声器的频响曲线上会出现许多的峰谷点，使扬声器的失真明显增大。

锥形扬声器的分割振动是因锥盆的刚性不好引起的，因此，增加锥盆的刚性、改善锥盆的各项综合性能指标就成了人们努力的方向。为了使扬声器具有良好的性能指标，扬声器振膜材料的物理特性通常应满足三方面的要求。首先，振膜材料的密度要小，弹性比率 E/ρ 即弹性模量 E 和密度 ρ 的比值要大，使扬声器能有足够宽的重放频带。其次，振膜材料应具有足够的机械强度，它的弯曲刚性 $E \cdot I$ 要大，使扬声器的失真尽可能小。最后，振膜材料内部阻尼要适中，以便减小扬声器锥盆分割振动时的 Q 值。自从 1925 年锥形扬声器诞生以来，锥形扬声器的振膜一直以纸浆材料为主流，因此，人们常把锥形扬声器叫做纸盆扬声器。这种扬声器的纸质锥盆很容易受潮，刚性也差，为了增加扬声器锥盆的刚性、内阻尼以及防水性能，人们开始在纸浆中渗入羊毛、木棉、蚕丝、碳纤维和亚麻等材料。随着新型非纸浆振膜材料的不断问世，聚丙烯、云母碳化聚丙烯、发泡聚丙烯树脂、氯丁树胶、碳纤维编织、防弹布、精密陶瓷和硬质铝箔等材料的锥盆扬声器大量出现，彻底改变了纸盆扬声器一统锥形扬声器天下的局面。用这些新材料制成的锥形振膜往往具有各自不同的优点，从而使扬声器具有不同的频率响应和音色特点。表 1-1 列出了常见锥盆材料的物理参数。

表 1-1 常见扬声器锥盆材料的物理参数

材料	弹性模数 (N/cm^2)	密度 (kg/m^3)	单位弹性模量 (m^2/s^2)	音速 (m/s)	内部损失 (η)
纸质	2.0×10^{-9}	500	4.0×10^{-6}	2000	0.050
聚丙烯	8.9×10^{-9}	980	9.1×10^{-6}	3016	0.050
液晶聚合物	3.92×10^{-10}	1450	2.71×10^{-7}	5205	0.064
铝膜	7.2×10^{-10}	2700	2.67×10^{-7}	5167	0.001
金属镀膜	1.1×10^{-11}	4540	2.44×10^{-7}	4919	0.001

聚丙烯锥盆具有效率高、硬度高和质量轻等特点，优异的阻尼特性能吸收并消除任何不必要的共振，使扬声器的音染很小，频响更加宽阔平坦。Polykevlar 是一种用 kevlar 高分子化合物制成的多层材料，它由直径只有 $1\mu\text{m}$ 的硅纤维中空球与环氧树脂混合而成。这种材料的纤维抗拉能力极强，它的阻尼特性和刚性都很好，可以使扬声器具有出色的瞬态响应和解析力。液晶聚合物 (LCP) 具有良好的工程塑料特性，它具有金属般的单位弹性模量、较小的线膨胀系数和较大的内部机械损耗，可大幅度降低扬声器的高次谐波和失真。藻朊酸纤维是从海带等褐藻类中提炼出的藻朊酸丝状物经化学处理加工后形成的，它的直径只有 $20\sim 50\mu\text{m}$ ，具有重量轻和刚性好的特点。用这种藻朊酸纤维制作扬声器锥盆能有效地抑制扬声器的高频共振，拓宽扬声器的频率范围。但是，值得注意的是迄今为止我们还无法找到能同时满足上述 3 个基本要求的振膜材料，上述的每一种振膜材料在具有某种优点的同时往往伴随着另一种不足。

折环是指扬声器锥盆（或振膜）的四周支持部分，它的作用是对扬声器振动系统进行轴向定立。折环的一端固定在锥盆（或振膜）的外侧，另一端则固定在扬声器盆架上，使整个振动系统能自由地轴向振动，防止出现横向振动。目前扬声器中使用的折环主要有纸折环、布折环、泡沫折环和橡胶折环 4 种，这几种折环的内阻尼互不相同。折环的形状对扬声器的性

能有很大的影响，常见的有波纹式和圆环式两种。波纹式折环通常用纸或布浸树脂制成，这种折环的伸缩有一定限度，振幅大时圆周方向的位移容易受到限制，使驱动力与和位移呈非线性。圆环式折环一般用布浸树脂、发泡树脂或橡胶等材料加热成型，根据它与锥盆粘接方向的不同可分为上凸圆折环（俗称正折环）和下凸圆折环（俗称反折环）两种。圆折环的优点是允许有较大的振幅，为了使折环的驱动力和位移在大振幅时能保持线性，目前一些高保真扬声器的折环宽度较大，使折环的曲率半径增大。为了抑制共振、消除扬声器频响曲线上的中频谷点，这些圆折环是不对称的。在保证扬声器整体性能的前提下，适当减小折环的尺寸，可以减少因折环辐射声波对扬声器声性能的不利影响。适当增加折环的厚度或劲度，则可以在一定程度上改善扬声器的中频谷点，但这样会使扬声器的谐振频率上升。

定心支片是振动系统中影响扬声器品质的又一重要元件。定心支片和折环的劲度是决定扬声器谐振频率的因数之一，定心支片振动时振幅的线性程度也在一定程度上影响扬声器的失真大小。定心支片通常是一种用亚麻布浸渍酚醛树脂后热压制成的波纹形圆环，它的外端粘接在扬声器的盆架上，内孔则与扬声器的音圈和锥盆刚性地粘接在一起。定心支片的主要作用是保持音圈在扬声器磁气隙中的正确位置，要求它的轴向顺性大，使音圈能在磁气隙中垂直振动不受阻碍，径向则要求能可靠地限制音圈的左右移动，使音圈不与夹板或极心接触，从而使扬声器具有良好的机械强度和电声特性。它的另一作用是防止外部灰尘进入磁气隙。

防尘罩是一种用纸质或聚酯塑料等材料制成的球顶状防护罩，安装在锥盆根部与音圈结合部，它一方面可以用来增加结合部的刚性，改善扬声器的高频特性；另一方面可防止金属屑和灰尘进入磁气隙。目前使用的防尘罩有凸型和凹型两种，可以用纸浆、布浸树脂、聚酯塑料和硬金属箔等材料压制而成。扬声器的高频能量主要靠锥盆的中部辐射，因此，防尘罩的形状和所用的材料对扬声器的高频频响有很大的影响，尤其在扬声器音圈口径较大的情况下，这种影响往往更加明显。增加防尘罩的口径或者使用凹型防尘帽可以起到截断高频的作用；通过改变防尘帽的弧度和压制材料则可以在一定范围内改善扬声器的高频特性。

音圈是扬声器的驱动元件，通常用铜漆包圆线在圆柱形骨架上绕制而成。整个音圈分两层或四层绕制，目的是使线圈的引出线两端均朝向锥盆一侧，使引出线能牢固地焊接在锥盆上。为了更有效地利用磁路气隙，提高扬声器的性能，有时整个扬声器音圈用扁平漆包线绕制。圆柱形骨架用来支持和固定音圈导线，使扬声器音圈和锥盆（振膜）之间的相对位置保持不变。扬声器的音圈骨架大多用牛皮纸制成，俗称纸音圈。这种纸质音圈骨架的优点是制作成本低，最大缺点是容易受潮，受潮后骨架容易变形，造成音圈碰圈；另一个缺点是刚性和耐热性能差，无法承受大功率。为了防止扬声器音圈在流过较大音频电流时因过热而损坏，目前许多扬声器已采用铝镁合金音圈骨架，这种铝镁合金音圈骨架具有良好的刚性和散热性能，但是这种金属材料的音圈工作时会产生涡流失真。Kapton 是一种聚酰亚胺薄膜，最初应用于航空工业，工作温度可达 240℃，弹性恢复力也明显优于铝镁合金，用这种材料制作音圈骨架可以使扬声器音圈在高温下不容易变形。这种 Kapton 材料很硬，价格也很贵，因此主要用作大功率的扬声器音圈骨架。近几年，为了进一步改善扬声器的功率承受能力，一些 Hi-Fi 扬声器的音圈骨架使用一种称为 Nomex 的材料，用这种材料制作的扬声器音圈具有更好的耐高温性能，不易变形。最近，一种称为 Kaladex 的新材料已经问世，这是一种用聚乙烯苯二甲酸盐材料双向拉伸制成的薄膜，简称 PEN 薄膜。这种薄膜具有较高的杨氏模量和优良的密度/模量比，耐高温性能比聚酯高约 40℃。与传统的铝合金音圈骨架相比，Kaladex 材料制作的音圈骨架质量较轻，不存在涡流效应，从而改善扬声器的低频和高频的响应。另外，Kaladex 音

圈骨架具有良好的防潮性能，不易变形，使扬声器音圈可以在更窄的磁气隙内工作。因此，Kaladex 是一种极有开发和使用价值的扬声器音圈骨架材料。

磁体是一种用硬磁性材料烧结而成的圆环，其作用是在扬声器磁气隙中产生具有一定磁感应密度的恒磁场。前几年生产的扬声器大多使用锶或钡铁氧体磁体，这种铁氧体具有矫顽力高和剩磁磁通密度较低的特点，以及耐氧化、耐腐蚀、重量轻等优点，但缺点是剩磁较低，温度系数大，易碎。铝镍钴和钕铁硼是一种新型的磁性材料，比传统的铁氧体磁体具有更高的磁能级，使用这些磁体能明显提高扬声器的性能指标，缩小扬声器体积。近几年，随着铝镍钴、钕铁硼磁体加工工艺的成熟，这些新型磁性材料的价格已显著下降，目前已有越来越多的扬声器使用这种新型磁体。

上、下夹板是一种用导磁性能良好的低碳钢或纯铁制成的圆环形铁板，极心是用同种材料制成的圆柱形铁心，极心和下夹板通常直接铆合在一起。它们的作用是给磁体所产生的磁场提供一个磁回路，并在上夹板和极心之间形成一个均匀的磁气隙。由于极心和下夹板铆合接触面常常存在较大的磁阻，使扬声器磁气隙的磁感应密度受到一些影响。近年来，一些高档扬声器的下夹板和极心大多已用整块优质纯铁冷挤成型，称为一体化 T 铁。这种一体化 T 铁没有铆合面，具有导磁高、磁场失真小的优点。为了使音圈在磁气隙中随音频信号的变化线性地产生位移，磁气隙中的磁场应保持均匀对称。虽然在狭窄的磁气隙中确实可以得到良好的均匀磁场，但磁力线会离开磁气隙的空间范围，在磁气隙的两边产生漏磁场。传统的扬声器采用普通的圆柱形磁极心，由于磁路结构不对称必然会产生不对称的漏磁场，引起扬声器的非线性失真。为了尽量减轻这种因不均匀漏磁场而引起的非线性失真，目前一些 Hi-Fi 用扬声器大多采用全对称磁路，即将通常的圆柱形磁极心加工成工字形，或者在磁极心顶部加工出一个角度。由图 1-5 可见普通磁路和全对称磁路在结构上的差异。

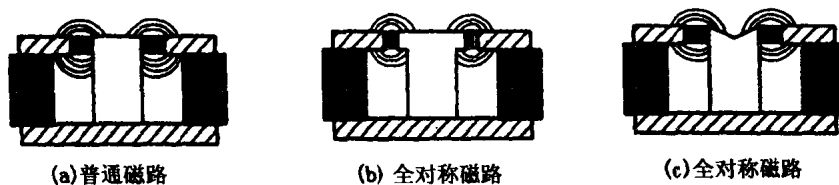


图 1-5 普通磁路和全对称磁路在结构上的差异

目前不少扬声器单元都在扬声器的磁气隙中注入一种称为磁液的流体。磁液由悬浮在液载体中的四氧化三铁的超微粒子组成，首先由美国的 NASA（美国国家航空航天局）研究生产。扬声器中使用的磁液有多种牌号，不同用途的扬声器单元常常使用不同牌号的磁液。磁液在扬声器单元中的成功应用主要是由于它具有良好的导热性。我们知道，扬声器工作时流经音圈的电流会产生热量，如果这些热量无法及时散发出去，就会使音圈的温度升高。音圈温度升高将直接导致音圈的直流电阻增加，其结果是扬声器的损耗增加，灵敏度下降。当我们在扬声器的磁气隙中注入磁液后，一则可以使扬声器工作时音圈产生的热量能够通过磁液迅速地散发出去，从而有效地防止因音圈受热膨胀而产生的擦圈现象，降低扬声器音圈烧毁的可能性；二则由于磁液受磁体磁场的影响而吸附在音圈的表面，因此可使音圈始终悬浮在极心和上夹板之间的磁气隙中间。磁液在扬声器磁气隙中形成的静态磁力可以抑制扬声器工作时音圈的左右晃动，保持音圈与极心的同心度，防止音圈振动时与极心或上夹板摩擦。另外，在扬声器单元的磁气隙中注入磁液还可以改变扬声器的阻尼。有时低频扬声器单元由于