

《高保真音响》系列丛书

实用音箱设计 方法与实例

赵广林 编著

《高保真音响》系列丛书

实用音箱设计 方法与实例

赵广林 编著

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

实用音箱设计方法与实例 / 赵广林编著. -- 北京 :
人民邮电出版社, 2011.1
(高保真音响系列丛书)
ISBN 978-7-115-23977-8

I. ①实… II. ①赵… III. ①扬声器系统—设计
IV. ①TN643

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第194219号

内 容 提 要

本书详尽地介绍了音箱的工作原理、各种档次音箱箱体和分频器的业余设计与制作方法等实用内容, 并给出了很多音箱制作的实例, 另外, 在附录中给出了常用扬声器的详细资料, 供读者在制作音箱时参考。

本书层次清晰、资料翔实、语言通俗、实践性强, 适合广大电子爱好者和音响爱好者阅读, 也可作为专业音响工作者参考的工具书。

《高保真音响》系列丛书

实用音箱设计方法与实例

-
- ◆ 编 著 赵广林
责任编辑 邓 晨
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 700×1000 1/16
印张: 13.25
字数: 254 千字
印数: 1—4 000 册
- 2011 年 1 月第 1 版
2011 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-23977-8

定价: 38.00 元

读者服务热线: (010)67132837 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

音箱是整个音响系统的喉舌，其性能在音响系统中占有举足轻重的地位，因而它的价格往往在整个系统中占有很大的比例。

由于一系列因素，现在很多名牌厂家生产的音箱的价格一直居高不下，使得一部分发烧友只能“望箱兴叹”。因此，很多朋友都喜欢自己动手来制作音箱，这样不但可以省下一部分“银子”来升级其他的器材，而且还可以同时体验亲自动手的乐趣。自己制作音箱时，只要选用优质扬声器，再加上良好的制作工艺，其音质完全可以和成品音箱媲美甚至超过品牌音箱。为了帮助广大音响爱好者了解学习如何制作音箱，作者专门编写了本书，介绍音箱的实用设计方法，并绘出一些有用的实例。本书内容共分 5 章。

第 1 章介绍了音箱的工作原理和常用音箱的类型。

第 2 章详细介绍了业余条件下设计音箱的方法和音箱箱体的制作及装饰方法等。

第 3 章介绍了各种扬声器的工作原理和制作音箱时选择扬声器的方法。

第 4 章详细介绍了音箱中的各种类型分频器和补偿电路的设计方法。

第 5 章介绍了几十款实用的音箱制作实例，并给出了各款音箱制作时的一些实用技巧和调整方法，使读者在制作音箱时，不但可以“照葫芦画瓢”，而且还可以灵活运用、融会贯通。

另外，在本书的写作过程中，参考了很多同类的文献，鉴于文献来源众多，难以对各作者一一致谢，在此谨向这些文献的原作者一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中有些地方难免会有疏漏，恳请各位专家批评指正。

作者
2010 年 4 月

目 录

第 1 章 音箱的工作原理与类型	1
1.1 音箱的工作原理	1
1.2 音箱的类型	3
第 2 章 音箱的设计与制作	11
2.1 音箱箱体的设计	11
2.1.1 密闭式音箱箱体的设计	12
2.1.2 倒相式音箱箱体的设计	13
2.2 音箱箱体的制作	17
2.2.1 箱体材料的选择	17
2.2.2 音箱箱体的拼装	19
2.2.3 扬声器的排列	21
2.2.4 箱体的加固与处理	24
2.3 扬声器的安装	25
2.4 音箱的装饰	26
2.5 音箱的调整	28
第 3 章 扬声器的识别与选择	31
3.1 扬声器的工作原理	31
3.2 扬声器的类型	34
3.2.1 电动式扬声器	34
3.2.2 球顶扬声器	35
3.2.3 带式扬声器	36
3.2.4 号筒扬声器	36
3.3 扬声器的参数	37
3.4 扬声器的选择	43
3.4.1 怎样选择高音单元	43
3.4.2 怎样选择低音单元	44
3.4.3 怎样选择中音扬声器	45

第4章 分频器的设计与制作	47
4.1 分频器的种类	47
4.2 分频器的主要参数	49
4.2.1 分频点	49
4.2.2 分频斜率	50
4.3 分频器的设计与元器件参数计算方法	52
4.3.1 功率分频器的设计与元器件参数计算方法	53
4.3.2 电子分频器的设计与元器件参数计算方法	58
4.4 分频器补偿电路的设计	61
4.4.1 频响曲线补偿电路	62
4.4.2 谐振频率处的阻抗补偿	63
4.4.3 高频阻抗补偿	63
4.4.4 低频阻抗补偿电路	64
4.4.5 灵敏度补偿电路	64
4.5 分频器元器件的选择与制作	66
4.5.1 怎样选择和制作电感线圈	66
4.5.2 怎样选择分频器中的电容	71
4.5.3 怎样选择分频器中的电阻	72
第5章 典型音箱制作实例	75
5.1 二分频音箱制作实例	75
5.2 三分频音箱制作实例	117
5.3 多媒体有源音箱制作实例	138
附录 常用扬声器资料汇总	157

第1章 音箱的工作原理与类型

音箱是整个音响系统的喉舌，音频信号要经过音箱才能完美地重放出来，因此它在整个音响系统中占据着及其重要的地位。

1.1 音箱的工作原理

一个完整的音箱主要由箱体、扬声器和分频器等组成，如图 1-1 所示。

音箱箱体的作用主要是消除“声短路”现象并改善扬声器播放声音的音质。

扬声器在工作的时候靠音圈带动纸盆的振动来推动空气振动发出声音。当扬声器中的线圈通过电流时，与线圈相连的纸盆就会往前（或者向后）运动，使扬声器前方的空气密度增大，后方的空气密度减小。如果没有什么阻拦，前方的空气会绕到扬声器后方去“填空补缺”，这样，两种反相的声波就会互相抵消，最终使扬声器输出的低频声波大大衰减，这种现象就称为“声短路”现象。声短路与频率有关，频率越低越明显。图 1-2 所示为扬声器发声时的示意图，图中“-”、“+”表示扬声器纸盆前、后互为反相的声波。

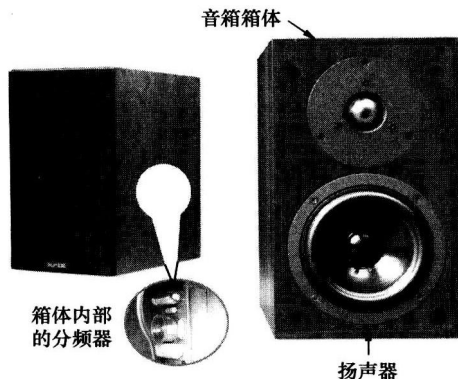


图 1-1 音箱的构成

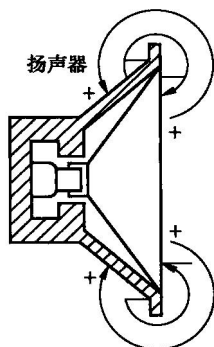


图 1-2 扬声器发声时的示意图

声短路现象一般从 700Hz 就开始出现，但在 300Hz 以下最明显。因此，要使扬声器能有效地重放出低频信号，就必须设法消除扬声器的声短路现象。

在选购和试听扬声器时经常会有这种感觉：当将扬声器拿在手中试听时几乎听不到低频段的声音，这种情况就是由于扬声器锥盆前、后的声波相互抵消所造成的。

如果将那个扬声器单元放在一块开有圆孔的木板上，就会觉得音乐节目中的低频信号丰富了不少。在一定的范围内，木板的面积越大，可听到的音乐节目中的低频就越丰富。这是因为扬声器振动膜前面的声波与后面的声波被这个木板隔开了，使低频声波不会互相抵消，无形中就增加了扬声器的低频输出的声功率，这种木板通常称为障板。

虽然障板能有效地防止扬声器单元的声短路现象，但如此庞大的障板在实际使用中是极不方便的。如果将障板的四周折叠起来就可以明显地消除扬声器单元的声短路现象，这样就构成了最简单的音箱模型，如图 1-3 所示。

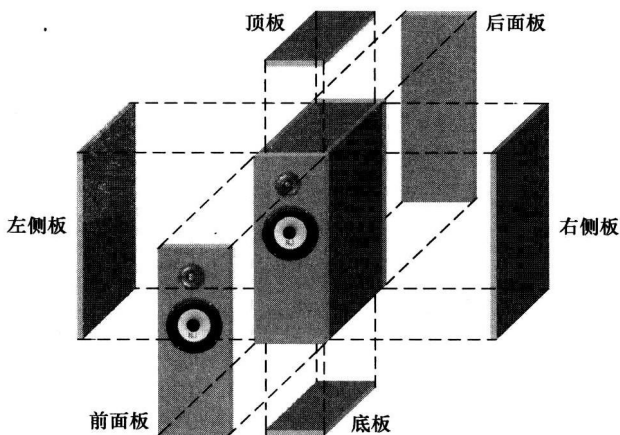


图 1-3 音箱示意图

音箱箱体的作用就是将扬声器纸盆两面的声波隔离，避免“声短路”现象，从而保证低频信号的重放效果，而且音箱的箱体可对声音的共振进行有效的控制，增大声阻尼作用，使放音更优美动听。

一个音箱的低频重放下限一般由所用低频扬声器单元的谐振频率来决定，因此，要减小低频扬声器在谐振频率处的失真就必须设法抑制扬声器单元在谐振频率处的阻抗峰，减小锥盆的振幅。

将低频扬声器单元装入具有合适内容积的箱体内，箱内空气的劲度就会对振膜的运动产生抑制作用，这样就可以有效地抑制低频扬声器单元在谐振频率处的阻抗峰，达到减小整个音箱失真的目的。通过选择合理的箱体结构和参数，还可以达到拓宽低频响应的目的。

在有些音箱中，高音扬声器不是安装在音箱箱体上，而是直接放置在音箱的

顶部。这是因为高频信号的波长短，绕射能力弱，不存在“声短路”现象，所以，对于高音单元，音箱的箱体一般只是起到支撑的作用。高音扬声器放在音箱的顶部不但可以使高频信号直接送到听众的耳中，使高音信息更加真切，而且可以美化音箱的外观。

一个扬声器单元如果要有效地重放出低音信号，扬声器的锥盆就要有较大的口径和良好的刚性。但口径大、刚性好的锥盆往往具有较大的质量，增大锥盆的质量会影响扬声器单元的高频特性。如果扬声器单元要有效地辐射高音，那么这个扬声器振动系统的质量就要很轻，振膜的口径就不能过大，其结果必然影响到扬声器的低频重放效果。由此可见，任何一个扬声器单元都无法同时对低频信号和高频信号进行有效的重放。为了使扬声器能在相当宽的频率范围内有效地进行信号重放，人们不得不使用2个或2个以上的扬声器单元以某种方式代替单一的扬声器单元，使每个扬声器单元仅工作在整个音频范围中某一较窄的频段，再通过分频网络将它们合理地组合起来。因此，音箱的另一个作用就是将2个以上具有不同频率范围的扬声器单元以固定的方式放置在同一个箱体上，使之具有一个相当宽的放音频率范围，组成一个扬声器系统。

从上面的介绍可以看出音箱箱体的作用并不仅仅是用来安装、固定扬声器，它还能提高扬声器的声功率，扩展重放声音的频率范围，改善扬声器的放音频率特性曲线。

分频器是音箱内的一种电路装置，用以将输入的音乐信号分离成高音、中音、低音等不同的频率段，然后分别送入相应的高、中、低音扬声器单元中重放。分频器的另一个作用是防止大功率的低频信号直达高音扬声器，使其振膜剧烈振动而损坏。

1.2 音箱的类型

音箱的分类方法很多，常见分类如下。

1. 按用途来分

一般可分为主放音音箱、监听音箱和返听音箱等。

主放音音箱一般用作音响系统的主力音箱，承担主要放音任务。主放音音箱的性能对整个音响系统的放音质量影响很大，也可以选用全频带音箱加超低音音箱进行组合放音。主放音音箱的体积一般比较大，如图1-4所示。

监听音箱用于控制室、录音室作节目监听使用，它具有失真小、频响宽而平直，对信号很少修饰等特性，因此最能真实地重现节目的音响效果。监听音箱外

形一般也比较精致小巧，如图 1-5 所示。

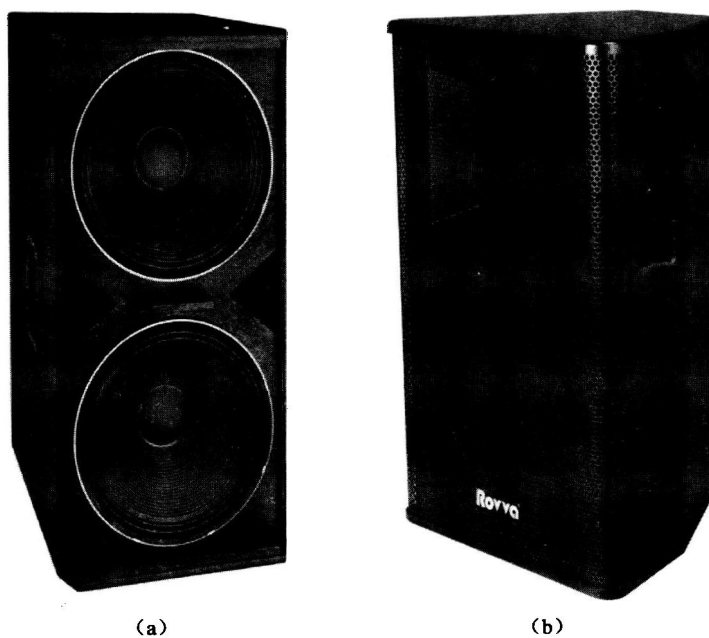


图 1-4 主放音音箱

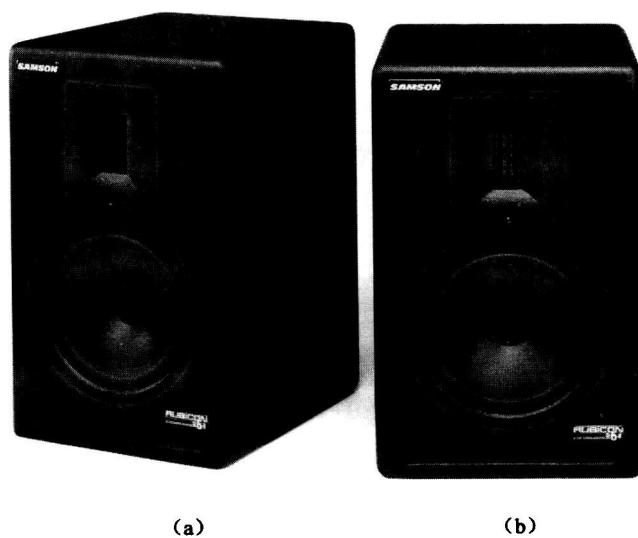


图 1-5 监听音箱

由于体积小，音质出众，监听音箱也常被家用 Hi-Fi 音响系统所采用。

返听音箱又称舞台监听音箱，一般用在舞台或歌舞厅供演员或乐队成员监听自己演唱或演奏声音。这是因为他们位于舞台上主放音音箱的后面，不能听清楚自己的声音或乐队的演奏声，故不能很好地配合或找不准感觉，甚至影响演出效果。返听音箱一般做成斜面形，如图 1-6 所示。



图 1-6 返听音箱

这种音箱既可放在舞台上不致影响舞台的总体造型，又可在放音时让舞台上的人听清楚，还不致将声音反馈到传声器而出现啸叫声。

2. 按使用场合来分

按照使用场合分为专业音箱与家用音箱两大类。家用音箱一般用于家庭放音，其特点是放音音质细腻柔和，外形较为精致美观，放音声压级不太高，承受的功率相对较小。专业音箱一般用于歌舞厅、卡拉 OK 厅、影剧院、会堂和体育场馆等专业文娱场所。一般专业音箱的灵敏度较高、放音声压大、承受功率大。与家用音箱相比，专业音箱的音质偏硬且音箱表面较为粗糙，以便于搬运。

3. 按放音频率来分

按放音频率可分为全频带音箱、低音音箱和超低音音箱。

所谓全频带音箱是指能覆盖低频、中频和高频范围放音的音箱。全频带音箱的下限频率一般为 30~60Hz，上限频率为 15~20kHz。在一般中小型的音响系统中只用 1 对或 2 对全频带音箱即可完全担负放音任务。

低音音箱和超低音音箱一般是用来补充全频带音箱的低频和超低频放音的专用音箱。这类音箱一般用在大、中型音响系统中，用以加强低频放音的力度和震撼感。使用时，大多经过一个电子分频器（分音器）分频后，将低频信号送入一

个专门的低音功放，再推动低音或超低音音箱。

4. 按箱体结构来分

按照箱体结构可分为密封式音箱、倒相式音箱、传输线式音箱、哑铃式音箱等。

密闭式音箱是结构最简单的扬声器系统，这种音箱将扬声器单元装在一个全密封的箱体内构成，如图 1-7 所示。

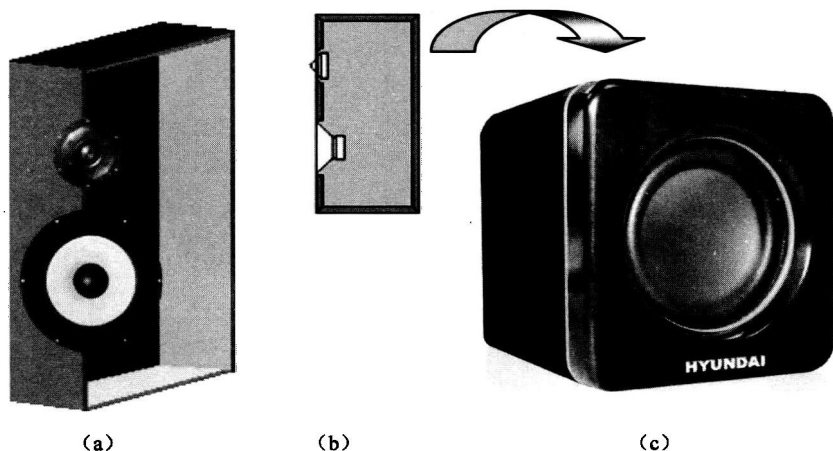


图 1-7 密闭式音箱

密闭式音箱是一个封闭得很严密结实的箱体，箱体表面仅留有扬声器孔位。当扬声器装上后，音箱内部与外部是封闭的、完全隔离的。这样，当扬声器发声时，其振动膜前、后声波能完全隔离，互不干扰。

密闭式音箱能将扬声器的前面的辐射声波和后面的辐射声波完全隔离，但由于密闭式箱体的存在，会增加扬声器运动的阻力，因此会使扬声器的频率下限有所上升。

密闭式音箱虽然能获得不错的低频音色，可是这种设计方式会降低扬声器的效率，要想获得很好的控制力，就必须采用很大的功放来推动，否则其低频信号的速度会令人感到有些迟钝。

由于密闭式音箱效率较低，故在专业音箱中较少应用，主要用于家用音箱或者少数的监听音箱。

密封式音箱具有设计制作的调试简单、频响较宽、低频瞬态特性好等优点，但对扬声器单元的要求较高。

倒相式音箱又名低音反射式音箱，在这种音箱的箱体面板上有一个出声口的开孔，开孔位置和形状有多种，但大多数在孔内还装有倒相管。这种音箱内的扬

声器向后辐射的声波经倒相管倒相后，由出声口辐射到前方，与扬声器向前辐射声波进行同相叠加，能达到增大低频声功率的目的，倒相式音箱结构图如图 1-8 所示。

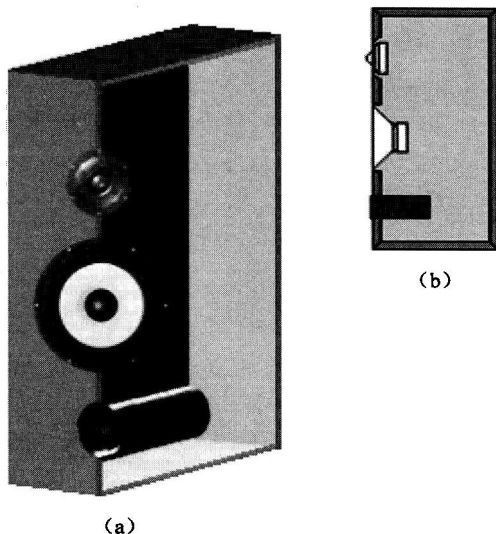


图 1-8 倒相式音箱结构图

倒相式音箱能提供比密闭式音箱更宽的带宽，具有更高的灵敏度、较小的失真，理想状态下，低频重放频率的下限可比扬声器共振频率低 20% 以上。这种音箱用较小箱体就能重放出丰富的低频效果，是目前应用最广泛的一种音箱类型。

倒相式音箱的倒相管直径的大小与倒相管的长度都会影响低频的延伸，因此必须根据扬声器的特性，设计出合适的孔径与长度，以取得最佳的速度感与良好的低频延伸。

倒相式音箱的特点是频响宽、效率高、声压大，符合专业音响系统的要求，故在专业音箱中用得最多的就是倒相式音箱。

传输线式音箱在扬声器背后设有用吸声性板材做成的传输管道，如图 1-9 所示。

传输线式音箱由较长的传输管道来增加低频的延伸，但过长的管道会导致低频速度慢。理论上，传输管道可以衰减由锥盆后面来的声波，防止其反射到开口端而影响低音扬声器的声辐射，其长度是所需提升低频声音波长的 $1/4$ 或 $1/8$ 。通常传输线式音箱的声音传输管道大多折叠呈迷宫状，所以也称迷宫式或曲径式音箱。

传输线式音箱又被称为 $1/4$ 波长加载式音箱或者 QWL 加载式音箱，它的箱体内部另外加一段具有 $1/4$ 波长长度、一端封闭而另一端开口的楔形管子，将扬声器安装在这段管子的中间部分。

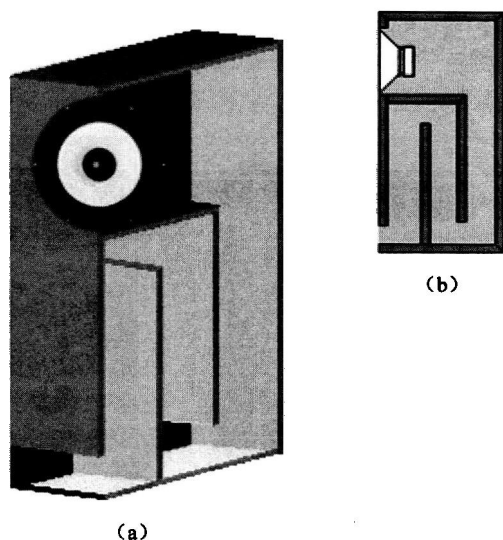


图 1-9 传输线式音箱

当某一频率的 $1/4$ 波长等于该管的长度时，管内的空气柱将产生谐振。此谐振频率与低音扬声器的谐振频率相同时，箱体锥形的封闭端将产生最高声压，并反过来作用到扬声器的背面，多余的气流从开口处辐射出去。

传输线式音箱的特点是扬声器能产生足够的声压负载来控制振幅，可避免大振幅时出现失真，还可获得增强 4 倍于谐振管长度的波长声波。

传输线音箱与密闭箱或倒相箱的设计思路完全不同，它利用了 $1/4$ 波长的传输线来达到吸收单元谐振、抑制振膜位移、拓展低频下限这些目的。传输线音箱有以下一些基本特征：低音单元后面接有一跟长长的导管（传输线），导管的长度取单元低频谐振频率（或稍高一点的频率）的 $1/4$ 波长。为了便于实际制作，导管通常折叠于箱体内部，看上去像一个迷宫；连接扬声器单元那端的传输线截面积至少比单元的辐射面积大 25%，然后逐渐变小，到传输线的出口处刚好等于单元振膜的辐射面积；传输线内敷设羊毛或玻璃棉等阻尼物质。传输线音箱与密闭箱和倒相箱等设计相比，具有更为深沉的低音。

哑铃式音箱是在倒相式和密闭式音箱的基础上发展出来的一种音箱。因其扬声器的排列像一只哑铃，故称哑铃式音箱。哑铃式音箱的箱体结构如图 1-10 所示。

通常情况下，倒相式音箱以及密闭式音箱箱体正面的高频、中频和低频扬声器单元都是采用垂直排列的安装方式。这样一来，音箱工作时发出的高频、中频和低频音频信号分别从不同的扬声器单元中辐射出来。而由于这些扬声器单元分布在箱体的不同高度，因此，可能会使人觉得音箱中不同频率的声音来自不同的

方向,从而影响音箱的垂直定位。为了克服音箱在垂直定位性能上的缺陷,要尽可能缩小扬声器单元之间的垂直距离,选用哑铃式音箱就能在一定程度上解决音箱垂直定位性能差的问题。



图 1-10 哑铃式音箱的箱体结构

哑铃式音箱通常采用二分频结构。哑铃式音箱中的 2 个低频扬声器单元可以是串联或并联的,高频扬声器单元位于这 2 个低频扬声器单元的中间。如果这 2 个低频扬声器单元具有相同的相位和灵敏度,可以有效地提高音响效果的定位准确度。另外,由于哑铃式音箱采用了 2 个低频扬声器单元,在达到同样输出功率的条件下,每个扬声器单元只需承受一半的功率即可,这样锥盆的振幅就可以大幅度减小,由锥盆振动引起的非线性失真也明显减小,因此,在同样失真指标的情况下,哑铃式音箱往往能输出更大的功率。

虽然哑铃式音箱具有很多优点,但是这种音箱在工作时,2 个低频扬声器单元会相互干涉,使音箱的中频垂直指向性变得尖锐(直接后果就是中音不明亮)。为了改善这种情况,通常将音箱的分频点选低一些,不过这就需要更好性能的高频扬声器单元来配合。

为了最大限度地提高哑铃式音箱的放音效果,可以采取下面的 2 种措施来进行完善:2 个低频扬声器单元的技术参数和频响特性应尽量接近,最好用同型号的扬声器单元;低频扬声器和高频扬声器的灵敏度应比高音扬声器的灵敏度低 2~3dB 时效果最佳。

5. 按箱体外形结构来分

音箱的箱体外形结构主要有书架式和落地式之分,还有立式和卧式之分。

落地箱体积比较大,一般直接放在地上,有时也在音箱下安装避震用的脚钉。

落地箱由于箱体容积大，而且便于使用更大、更多的低音单元，其低频通常比较好，输出声压级较高、功率承载能力强，因而适合听音面积较大或者要求较全面的场合使用。书架箱体积较小，通常放在脚架上，特点是摆放灵活，不占空间，不过受箱体容积以及低音单元口径和数量的限制，其低频通常不及落地箱，承载功率和输出声压级也小一些，适合在较小的听音环境中使用。

落地音箱属大型音箱，箱体高度在 750mm 以上；书架音箱的箱体高度在 750mm 以下，450~750mm 的为中型书架音箱，450mm 以下的为小型书架音箱。

使用书架式还是使用落地式的音箱，要根据视听室面积大小、放大器功率大小及个人品味而定。通常，对于视听室在 15m^2 以下的，宜选用中型书架音箱；低于 10m^2 的应选用小型书架音箱；大于 15m^2 的房间，可选用落地式音箱。

6. 按功率放大器形式来分

按有无内置的功率放大器，可分为无源音箱和有源音箱，前者没有内置功放而后者有。目前大多数家用音箱都是无源音箱，不过超低音音箱通常为有源音箱。

第2章 音箱的设计与制作

一款优秀的音箱设计方案应该是能将扬声器单元的特性发挥得淋漓尽致，并尽量克服缺点。本章主要介绍箱体的设计与技巧，当然设计音箱时除了设计箱体之外，还包括分频器的设计（分频器的设计将在后面的章节进行介绍）。

音箱的箱体外形有多种形式，可以根据自己的实际需要去选择书架式或落地式等类型的箱体。封闭式音箱的工作原理可以等效为无限障板，其余的箱体无论是倒相式还是其他的开口箱，实际都是一种特殊的声学滤波器。

由于箱体的设计牵涉到许多声学理论的知识，因此，对绝大多数音箱设计人员来说都是很困难的。所以绝大多数发烧友甚至一些小音箱厂家都是采用仿制别人箱体的办法，采用这种做法虽然很省事，但是别人设计的箱体不一定适合自己所选用的单元。如果随便找一个口径差不多的扬声器单元装上，可能就达不到预期的效果。因为不同的扬声器生产商，或者同一生产商所生产的不同型号的单元，尽管它们的口径相同，甚至外观也很相同，但它们的参数都可能会有很大的不同。

2.1 音箱箱体的设计

音箱箱体的设计就是为扬声器单元人为地制造一个良好的声学环境，使音箱中的每个扬声器单元都工作在最佳工作状态，从而使整个扬声器组合的音响效果达到最佳。音箱箱体的设计一般有2种方法：根据所需音箱的特定要求（如低频截止频率、频响特性和箱体体积）来确定所需扬声器单元的技术参数并进行采购；根据已有的扬声器单元的技术参数设计出与之相适应的音箱箱体。在业余条件下，大多采用第二种设计方法。

音箱的箱体设计工作涉及到扬声器单元的参数有谐振频率（ f_0 或 f_s ）、等效顺性（ C_{ms} ）、总品质因数（ Q_{ts} 或 Q_0 ）、等效容积（ V_{eq} 或 V_{as} ）、等效振动半径（ S_d 或 S_a ）、等效振动质量（ m_0 ）、线性范围（ X_{max} ）等指标。

谐振频率是指扬声器所能重放的最低频率，它是决定扬声器低频特性的重要参数。低音扬声器的谐振频率值通常是与其口径大小成反比。

总品质因数主要反映扬声器振动系统损耗的大小。该值与扬声器的等效振动