

# 音箱漫谈(续一)

## 详细推导音箱计算公式

○ 林涛

编者按:林涛先生的《音箱漫谈》的连载文章在本刊发表后,受到很多读者的欢迎。但是仍有许多读者来信询问音箱制作中的一些问题,从来信中也看出有部分读者对音箱的制作的太简单。

实际上音箱制作需要很多的知识与技能,作一对好音箱是需要付出艰辛的劳动,具备多方面的知识。但是,只要你认真去作是有可能做得很出色的。下面我们约请林涛先生再次对音箱制作中的问题和技术要点,作一些补充说明,同时也一并回答读者中提出的有关共性的问题。

一些愿意自己动手制作功放、信号源,音箱系统的音响爱好者,经常来信询问器材制作的原理或要领,特别是对于音箱制作,所要求解答的问题更多一些。主要是当拿到一些单元后,不知从什么地方下手去设计和调整。有些厂家给出了优化数据,这样就好设计一些,而遇到只有基本单元参数,却没有推荐值时,就存在设计上的盲目性。箱体制作完成后,用什么样的手段去测试、校正,是更重要的步骤。许多有创造性的扬声器系统(音箱),关键就在于后期的修正。《续篇》主要分两部分,第一部分是详细讲解音箱箱体设计计算,包括倒相箱、封闭箱。第二部分是分析现在国产扬声器生产的现状、不足及设计音箱所应避免的一些问题。

### 关于音箱推导过程

关于音箱设计的公式有不少形式,为了修正完成后的箱体某一参数,就需要带入一些变量来进行优化。利用手工计算或计算机辅助模拟,均可以完成,只是观测的过程,后者更直观。但是作为业余设计者,通常没有能力购买昂贵的测试仪器及布置测试环境。所以,我们只讨论在只有一些草稿纸、带函数运算的计算器、秃铅笔和一颗并不太好使但很顽固的脑袋的环境下作业的方式。当然,如果您有一

台带功放的低频信号发生器,就更好不过了。(这在后面的调试时非常重要)

在阅读下面章节前,希望您有一些设计音箱的经验,不管它是否合理。以及能够得到很详尽的关于扬声器的参数。

### 一些声学的基本知识

我们在 50 岁以前,最少可以听到 40Hz 到 16kHz 的声音,20Hz ~ 20kHz 是正常人能够听到的标准频率范围。更高的频率我们是否能够听到,现在持肯定态度的人占大多数,这里不做讨论。这里首先引入一个概念—波长。波长就是一个波的长度。在声学中,某频率的波长。用声速 340 米/秒,除以该频率可得。象 20Hz 的波长为 17 米,而 20kHz 为 0.017 米,就是 1.7 厘米。声波的传送象水波一样,是没有方向性的。夏天,天上打雷,在地面相同高度的不同位置的人,听到的响度(音量)是一样的。(不考虑位置对发声源距离的变化)

一只锥盆扬声器,其前后均是开放的。当锥盆振膜受力向前移动,使振膜前方空气质子密度变大,同时后方的质子密度变小。振膜相反运动时,空气质子运动变化也相反。这样就使得振膜前后的声音频率相同,而相位相反。也就是说前方声音是 +1,

而后方声音是 -1。当扬声器振膜的直径长度比某一频率波长长的话,在此频率以上的所有频率都受到振膜长度的阻挡,只能向前方传送声音;而包括该频率及更低的频率则不但向前传送声音,而且绕过扬声器向后传送声音,声波本来就是无方向扩散的。因为扬声器前后方所传递的同一频率因绕射而叠加,但其相位相反,所以声音自己就抵消掉了,这就是短路。一只 200 毫米(8 吋)低音单元只能让 1700Hz 以上频率向前辐射。对 1700Hz 以下的频率就无能为力了。

所以制作音箱,首先解决了声音绕射的问题,它就象一张障板一样,挡住了扬声器后面的声音,防止与前方声音相叠加。它将扬声器背部封闭起来。所以最早出现的音箱形式是封闭式箱,而后又有利用相移的方法,使音箱内部的声波导出箱体形式,显然这就是开口箱。

### 封闭式音箱

将箱体内部与外部的声波完全隔绝起来,相当于一张无限大的障板。这就是封闭式音箱。也是最早被应用于音箱制作的箱体形式。

推导过程:

1. 首先要测得扬声器未装箱前的谐振频率  $F_0$ 。此值在扬声器基本参数中可以找到。但为了精确计算,最好以实测值为准。

2. 获得扬声器振动质量  $M_Y$ , 该值可在扬声器技术参数中查到。

$$M_Y(g) = M_J + M_Q + M_K$$

式中:  $M_J$ —纸盆锥体质量

$M_Q$ —线圈质量

$M_K$ —振动锥体空气负载重量

$$M_K(g) = 8/3\rho\gamma^3$$

式中:  $\rho$ —空气密度( $1.2 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$ )

$\gamma$ —锥体半径(cm)。

如果有条件,并且还有一个相同的单只单元,不妨将振膜拆卸下来,进行测量,这样可以得到更准确的数据。

3. 根据测量结果,它的基本谐振频率  $F_0$  与  $C_{MY}$  (扬声器顺性)、 $M_Y$  的关系式。

$$F_0(\text{Hz}) = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_{MY} M_Y}}$$

其顺性推导公式为:  $C_{MY}(\text{cm/达因}) = \frac{1}{4\pi^2 F_0^2 M_Y}$

4. 扬声器在装入音箱后,其  $C_{MY}$  与箱内的密闭空气的顺性  $C_{MV}$  相串联。其等效电路如图 1 所示。故音箱的总顺性  $C_M$  可以用以下公式计算得出:

$$C_M(\text{cm/达因}) = \frac{C_{MY} \cdot C_{MV}}{C_{MY} + C_{MV}}$$

式中:  $C_{MV}$ —箱内,密闭空气的顺性,由下式获得:

$$C_{MV}(\text{cm/达因}) = \frac{V}{\rho C^2 A^2}$$

其中:  $V$ —箱内实际容积( $\text{cm}^3$ );

$\rho$ —空气密度(比重)  $= 1.2 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$

$C$ —声速( $3.4 \times 10 \text{cm/s}$ )

$A$ —纸盆锥体面积

$$A(\text{cm}^2) = \pi \cdot \gamma^2$$

$\gamma$ —纸盆锥体有效半径(cm),由防尘罩中心到折环中心为止。

5. 扬声器装箱后的谐振频率  $F_B$ , 由总顺性  $C_M$  与振动系统的质量  $M_Y$  求得:

$$F_B(\text{Hz}) = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_M \cdot M_Y}}$$

计算后的  $F_B$  应该符合音箱要求的频率下限,如果  $F_B$  偏高,可适当加大箱体体积,并重新计算,直到合适为止。

由于  $C_{MY}$  与  $C_{MV}$  是串联的。即总顺性  $C_M$  总是小于  $C_{MV}$  值。而  $C_{MV}$  决定扬声器本身的  $F_0$ ,  $C_M$  决定扬声器装箱后整个系统的  $F_B$ , 所以  $F_B$  不会小于  $F_0$ 。体积  $V$  越大,  $C_{MV}$  越大, 串联后  $C_M$  越接近  $C_{MY}$ ,  $F_B$  越接近  $F_0$ 。这是闭箱的设计特点。

对于闭箱来说,纸盆背面的声波是不被利用的。

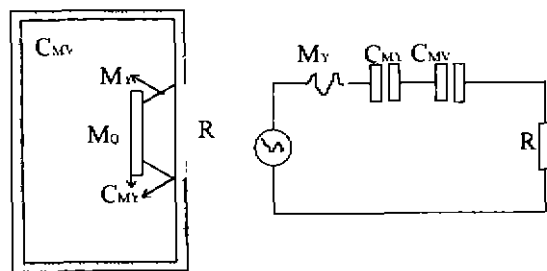


图 1

为了减少箱内无用的声波(驻波)对纸盆振动的干扰,一般还在箱内放置具有较高效率顶部阻尼材料。阻尼材料不但可以吸收声波,还可以降低空气质子传递声音的速度,等效于加大了箱体体积,并且压低在  $F_0$  处的阻抗峰。但由此可见,闭箱的效率是很低的,比起其它形式的音箱,其灵敏度要小 4~6dB。

一般来说,扬声器总 Q 值大于 0.4 时,该扬声器就可以制作闭箱用。

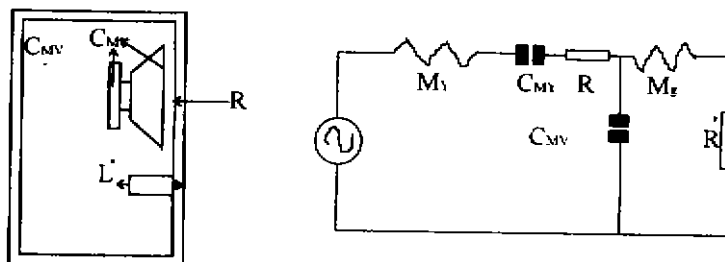


图 2

### 倒相式音箱的设计

市场上的音箱不论大小,十有八九都是倒相式音箱。这是应用最广泛的音箱。扬声器在自由声场的谐振频率是  $F_0$ ,在  $F_0$  处,纸盆振幅最大。相当于在等效电路中  $M_1$ 、 $C_{MV}$  串联谐振时的电流最大。见图 2。倒相箱的原理是:音箱体积形成的顺性  $C_{MV}$  与倒相孔内的空气质量  $M_2$  是一个并联谐振网络。设计时,要使此并联谐振网络的谐振频率也是  $F_0$ 。这样音箱达到匹配状态。

由于  $C_{MV}$  与  $M_2$  组成的谐振电路是并联式的,对  $F_0$  频率的信号阻抗最高,相当给予纸盆振动以最大的抑制。使其在  $F_0$  处的振动幅度大大减弱。同时,由两个谐振电路耦合,如果串联谐振与并联谐振的频率相等,则会把原来单一谐振峰压抑为两个大小相同的小峰  $F_1$ 、 $F_2$ 。形成驼峰状。频率低的小峰,使低频下限向更低端延伸。这种变化,是利用音箱声学特点改善扬声器的方法,见图 3。

前面提到,纸盆后面的声波与前方的声波反相 180 度。倒相箱就是借助音箱中的空气以及倒相孔中空气柱的振动,借助音箱后盖板的反射作用,把扬声器后面的声波反相 180 度,再由倒相孔将这部分声波传送出来。使这部分声波与扬声器直接播放的声波同相,相应的加强了低频的辐射能量。

倒相箱设计步骤如下:

1. 确定倒相孔参数 倒相孔的截面积必须与振动锥体有效面积相等或略小一些,否则倒相管开口直径太小。在倒相孔管中,空气流速加大,增加摩擦损失。倒相管截面积

$$A(\text{cm}^2) = \pi \gamma^2$$

式中,  $\gamma$  为锥体有效半径,由圆心计算到折环为止,与封闭箱  $\gamma$  相同。倒相孔中空气质量

$$M_2 = \rho L A$$

式中  $\rho$ —空气密度 ( $1.2 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ );

$L$ —倒相孔有效长度 (cm), 计算公式如下:

$$L(\text{cm}) = L' + 1.7\gamma$$

式中,  $L'$ —倒相孔实际长度 (cm)

$\gamma$ —锥体有效半径 (cm)

关键强调  $L'$  再加上校正值

$1.7\gamma$ , 是  $L$  的有效长度。因为在箱内距离管口一定长度时,会有一部分空气与倒相管中的空气一起振动。所以,管子的有效长度要比实际长度要长。在倒相管中,  $L'$  与音箱体积  $V$  均为变值。可先假设  $L'$  为一值,一般  $L'$  取 12~20cm 之间。箱内开口处不应离箱体盖板过近。

2. 测出待用扬声器的  $F_0$ , 设计音箱,使之  $F_c$  ( $F_c$  为扬声器装箱后的实际谐振频率)与  $F_0$  基本相等。等效的并联谐振电路,其  $F_0$  表达式为:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{M_2 C_{MV}}}$$

且

$$C_{MV} = \frac{V}{\rho A^2 C^2}$$

式中:  $\rho$ —空气密度 (同上)

$C$ —声速 (同上)

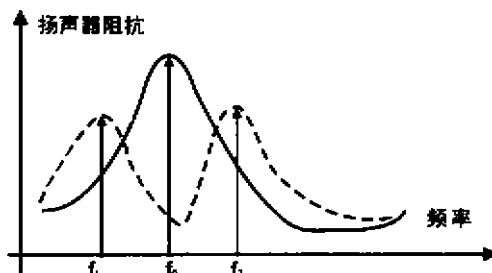


图 3

功率放大器 合并式  
春来江水绿如蓝 晶体管合并机·小箱

34-36

……斯巴克 220C 合并式功率放大器

自从将我使用两年之久的红灯 PS-80 功率放大器半卖半送的给与好友王鹏后,换功放就成了我一件头疼的事情。那时候,王鹏特意为我焊了一对信号线,因为只有一对,所以只好使用合并机。这对线属“无名无姓”的“三无”产品,但后来经某科研单位的某一发烧“病友”“鉴定”,确认这居然是美国在越战时存留下来的用于高频信号发射器上的电缆。流落民间十分少见,此线线身非常硬,弯曲一次,就直不过来了。属于“宁弯不折”的稀罕品种,线内共有两层屏蔽,外面一层是交叉编制的纯铜屏蔽网,里面一层屏蔽是银线,编制密度与外层相同,芯线是单支银。绝缘层是聚全氟乙烯材料,王鹏用单端接地的方法把四支 WBT RCA 插头用低温银锡焊好,并套上

热缩管。这当然算是一条发烧线。可就是这样一条线,让我在评机的时候大费周折。

红灯功放具有很松驰的低音和柔和的中、高频,它与 ELEC 音箱搭配,可以获得很平衡的声音。在换掉红灯后,开始我使用金牛的 EL34 胆机听音乐,无奈该机噪音过大,且无前级接力,总感到声音放不出来,力不从心。不过胆机的柔美甜润确实让人难忘。我心目中听音乐的最高境界当然是胆机。斯巴克的胆机就是我认为不那么高傲的公主。而这里所谈到的正是斯巴克今年新出位的高级晶体管合并机 220C。

这是一款金色面板的薄型功放,面板除了左侧的开关,右侧的输入选择和音量旋钮外,就剩显示电

A—振动锥体有效面积

V—音箱实际容积( $\text{cm}^3$ )

## 3. 求音箱体积

将  $M_s$ 、 $C_{MV}$  值计算式代入  $F_0$  后,简化后

$$F_0 = \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{LV}}$$

$$V(\text{cm}^3) = \frac{C^2 A}{4\pi^2 L F_0^2}$$

如果倒相箱只存在开口,而无倒相管时,则音箱体积 V 计算为:

$$V(\text{cm}^3) = C^2 D / 4\pi^2 F_0^2$$

式中: D—扬声器直径(cm)

$$L' = \text{板厚} \approx 20\text{mm} \approx 0.1D$$

$$V = \frac{C^2 A}{4\pi^2 L F_0^2} = \frac{C^2 \frac{\pi D^2}{4}}{4\pi^2 F_0^2 (L' + 1.7\gamma)} \approx \frac{C^2 D}{4\pi^2 F_0^2}$$

对于倒相箱的调试,一定要根据计算数据,进行大量的调试,再决定最终尺寸。调试方法以前的《漫谈》已经讲解过,这里不再赘述。

在倒相箱内,对阻尼的要求,从实践来看,比封闭箱还要高。首先要保证箱体不得有可感觉的非常规声泄漏。比如,螺丝没有上紧,低音扬声器大幅度振动时,用手摸面板,会感觉有噗噗的气声。甚至,因为螺丝与扬声器面板接触不良,也会顺着螺丝孔处漏气。防止泄漏,对于封闭箱和倒相箱都很重要。而当倒相箱声泄漏,相当于使倒相管开口面积加大,而平均管长度减少。最终使箱体实测结果造成偏差。

## 选择适合扬声器的箱体形式

什么样的单元适合什么样的箱体? 虽然现在低音扬声器都向低 Q 值方向发展,因为 Q 值低,可以用小箱体就能发出很好的低频。但仍有一些单元的参数比较特殊。如果已知单元的 Q 值及  $F_0$  时。我们可以用  $F_0$  除以 Q 值,结果在 40~80 时,适合于封闭箱,而在 80~120 时,适合于倒相箱。Q 值在 0.4 以下,一般作倒相箱形式;在 0.6 以上,作封闭箱;在两值之间,作这两种音箱均可。

□