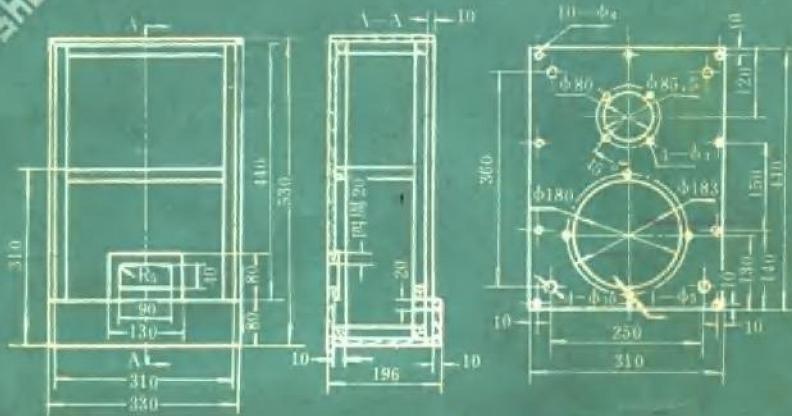


WUXIANG
SHEJI HU ZHIZUO



43

音箱设计与制作



音箱设计与制作

Yinxiang Sheji yu Zhizuo

刘绍山 编著

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市南京街6段1里2号)

辽宁省新华书店发行 沈阳新华印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 3 $\frac{1}{2}$ 字数: 70,000

1984年4月第1版 1984年4月第1次印刷

责任编辑: 陈慈良

责任校对: 马玉德

封面设计: 赵多良

印数: 1—99,000

统一书号: 15288·75 定价: 0.33元

出 版 说 明

随着四化建设的飞速发展，电子技术和无线电在各个领域里的应用越来越广泛。为了满足广大青少年和无线电爱好者的需要，我们组织了有关大专院校的教师和无线电工厂的技术人员，编写了这套《无线电小丛书》。

这套丛书的重点旨在介绍各种家用电子设备的制作、使用和修理方法，提供读者所需要的各种数据和资料，具有较强的指导性和实践性，通过学习，使读者既能掌握一定的无线电技术理论，又能从事实际的安装和调试。

我们希望本套丛书的出版有助于电子科学技术的普及，为此，欢迎广大读者提出宝贵的意见和建议。

目 录

一、音箱的分类.....	(1)
(一) 封闭式音箱.....	(3)
(二) 倒相式音箱.....	(5)
(三) 曲径式音箱.....	(7)
(四) 号筒式音箱.....	(7)
(五) 空纸盆式音箱.....	(8)
(六) 声阻式音箱.....	(9)
(七) 敞开式音箱.....	(9)
二、音箱简易设计.....	(9)
(一) 音箱的主要电声指标及设计的一般原则	(10)
(二) 扬声器的选择.....	(15)
(三) 单列式音箱简易设计.....	(27)
(四) 组合式音箱简易设计.....	(42)
(五) 音箱其它设计方法简介.....	(66)
三、箱体制作.....	(69)
(一) 箱体形状与结构.....	(69)
(二) 箱体材料选择.....	(72)
(三) 组装工艺要求.....	(74)

四、音箱制作实例.....	(82)
(一) 国内音箱.....	(82)
(二) 国外音箱.....	(94)
五、音箱电声指标的简易测试和音箱音质的调整	(100)
(一) 音箱电声指标的简易测试.....	(100)
(二) 音箱音质的调整.....	(103)

一、音箱的分类

音箱俗称扬声器箱，它是放声系统的重要组成部分。音箱由助音箱体、扬声器、分频器、衰减器及吸声材料等组成。音箱的作用就是把音频电能有效地转换成相应的声能，并把它辐射出去，形成重放声场。

大家知道，收音机末级功率放大器输出的电功率 P 是一交变功率，其电压与电流均是时间的正弦函数。扬声器一旦受到这种交变电功率的激励，纸盆便有规律地振动起来，纸盆前后的质点也随之振动，形成疏密交替变化的状态，以声波形式辐射出去。

功率 P 为正时，纸盆振动膜向外振动，正向功率最大时，振动膜向外振动的振幅为最大；功率为负时，振动膜向内振动，反向功率最大时，振动膜向内振动的振幅也最大。功率经过一个周期的变化，振动膜便完成一个往复，而它所对应的声波便传播一个波长。

扬声器振动膜振动时，振动膜前后空气的疏密情况恰好相反，所以在低频情况下，即疏密变化较慢时，膜前被压缩的空气就来不及绕过盆架去填补膜后的稀疏部分而形成所谓的声干涉。声干涉的结果使得部分声能互相抵消，声压变小，辐射能力减弱。这种现象类似于电路短路使电压降低的

情况，所以声干涉又称为声短路效应。

要避免声短路，就要设置“障碍”，所谓障板。障板使扬声器振动膜前后部分的空气隔开。从理论上讲要有一块无限大的障板才行，而在实际上既不可能也无必要。实践证明，障板的有效边长（方形障板）或有效直径（圆形障板）不小于扬声器能有效地辐射声波的最长波长的二分之一，就能有效地抑制声短路效应。例如：要防止100赫及其100赫以上的声波发生声短路效应，障板的有效边长或有效直径不小于1.7米（ $340/2 \times 100$ ）即可。

波长是频率的倒数，对于同样大小的障板，频率越高，波长越短，绕射越差，干涉越小。因此，声短路效应主要发生在低频段。障板改善低频响应的作用如图1所示。有障板时，低频辐射的声能大。反过来说，当辐射同样大小的声能时，有障板时的工作频率比无障板时低得多。

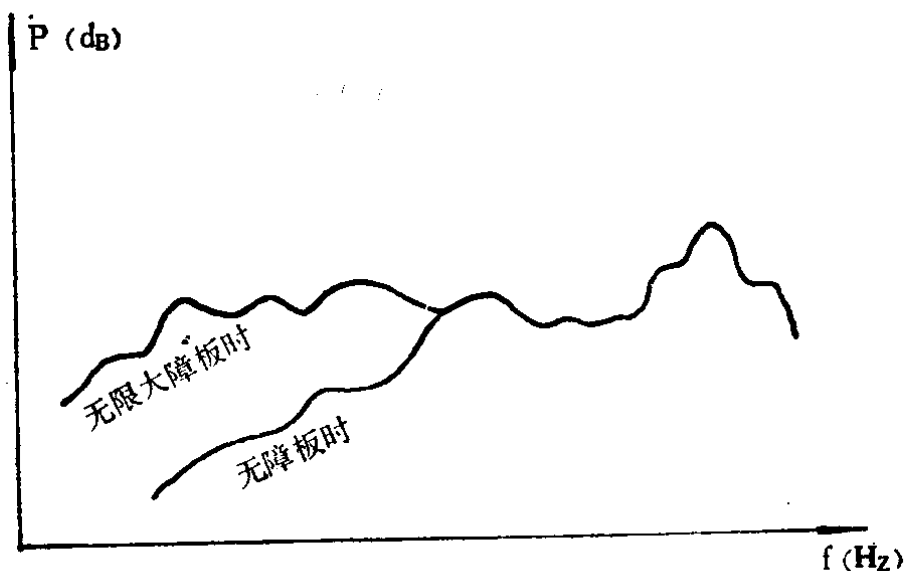


图1 障板改善低频响应的作用

但是，障板在实际中没有得到应用，主要存在如下缺点：

1. 增加频响的不均匀度，放音效果差。

当声波频率低于障板的截止频率时，仍会发生声短路效应。若声波频率等于障板截止频率或截止频率的奇数倍时，声波强度则互相加强；而等于偶数倍时，又互相削弱，这种现象称为对称障板效应。结果必然打乱原来的声波波形，增加频响的不均匀度，使整个放音效果变坏。

2. 体积大，难以把截止频率降得很低。

3. 安装不便。

4. 外形不美观，有碍观赏。

虽然障板在实际中没有得到应用，但是根据障板能抑制声能短路的原理而发明了音箱。音箱能有效地抑制声短路，改善低频响应特性，使扬声器发出浑厚有力、优美动听的声音。

音箱，按使用扬声器的多少，可分为单列音箱和组合音箱；按结构形式，可分为封闭式音箱、倒箱式音箱、曲径式音箱和号筒式音箱；按使用场合，可分为家用音箱、广播系统用音箱等。本章主要按音箱的结构形式予以介绍。

（一）封闭式音箱

封闭式音箱其箱体是封闭的，结构如图 2 所示。箱体内壁装有吸音材料，以削弱声反射，防止声驻波。因箱体封闭，其内外空气被隔开，类似无限大的障板。扬声器内部辐

射的声波不会传到箱外与扬声器正面辐射的声波发生干涉。从而改善了低频响应。另外，这种音箱体积小、设计简便、制作容易。很受使用和制作者的欢迎。

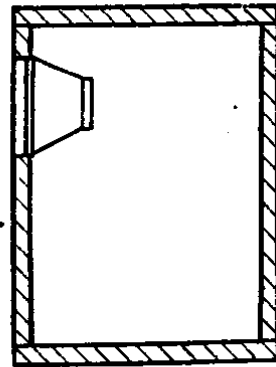


图2 封闭式音箱剖面图

但封闭式音箱具有如下缺点：

1. 频响的下限频率高 封闭式音箱箱内空气随扬声器振动膜的振动被不断地压缩和膨胀，而产生空气弹性。空气弹性使振动膜振动受到调制，频响的下限频率会提高。

2. 效率低 因箱体封闭，故扬声器向箱内辐射的声能基本上被吸收而浪费掉，因而效率低。

另外，封闭式音箱频响的下限频率与扬声器的谐振频率以及箱体的容积有关。当一个音箱所采用的扬声器的口径确定之后，其容积大于某值时，频响的下限频率主要取决于扬声器的谐振频率；而等于或小于这一容积时，频响的下限频率则主要取决于箱体容积本身。这一数值的容积称为界限容积。表1列出了几种不同口径的扬声器所对应的封闭式音箱的界限容积，以供参考。

表1 封闭式音箱界限容积参考值

扬声器口径(mm)	界限容积(cm^3)
120	$0.3 \sim 0.6 \times 10^4$
160	$1 \sim 2 \times 10^4$
200	$2.5 \sim 4 \times 10^4$
250	$6 \sim 10 \times 10^4$
300	$15 \sim 25 \times 10^4$

为了弥补封闭式音箱空气弹性的不良影响而带来的箱体较大的缺点，近年来研制出了高顺性的橡皮边扬声器。这种扬声器的谐振频率可以做得很低，甚至低到20赫以下。把它装在封闭式音箱中，音箱的容积可以做得比界限容积小一些，让扬声器很低的谐振频率适当提高一些，但仍可以使整个音箱获得良好的低频响应。例如，一谐振频率为30赫的口径为300毫米的电动式橡皮边扬声器，它的正常界限容积应当是 $(15\sim 25) \times 10^4 \text{cm}^3$ 。若把它装在一个容积为 $7.2 \times 10^4 \text{cm}^3$ ($300 \times 400 \times 600$ 毫米) 的封闭式音箱中，可以有效地重放50赫的低频信号。所以封闭式音箱成了目前国内外较为流行的一种音箱。

(二) 倒相式音箱

倒相式音箱又名低频反射型音箱，其结构如图3所示。在装有扬声器的音箱前面板上增加一个倒相槽（或倒相孔）。槽的截面积基本与低频扬声器的有效辐射面积相同。

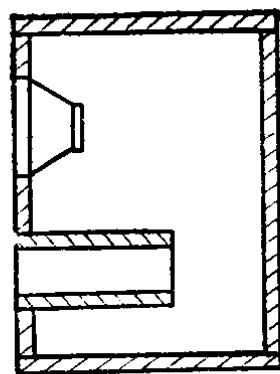


图3 倒相式音箱剖面图

倒相式音箱的优点是：

1. 能增强声波的辐射。倒相槽与箱体紧密组合，恰似一个赫姆霍兹共鸣器。一般把这只共鸣器（音箱）的谐振频率调准到与扬声器的谐振频率相同。这样，由于谐振造成的位移，会使倒相槽内空气的振动与扬声器振动膜前空气的振

动相位一致，即同步振动。从而使扬声器振动膜向箱内辐射的声能与向箱外辐射的声能相互迭加，同相位地辐射出去。所以，倒相槽的作用是把原来互相削弱的声波变成互相增强的声波，使封闭式音箱中有害的空气弹性变成有益的同步振动。

2. 既消除了声短路，又不会使音箱的谐振频率增高。

3. 充分利用了扬声器向箱内辐射的声能，效率高。

4. 降低音箱频响的下限，增强低频放音能力。实践表明，这种音箱的频响下限频率可以降低到所用扬声器谐振频率的百分之七十左右。

5. 对扬声器的谐振频率无特殊要求，采用普通谐振频率较高的纸盆扬声器即可，成本低。

6. 低频失真小，放声质量好。

倒箱式音箱也具有一定的缺点：

1. 结构较复杂。

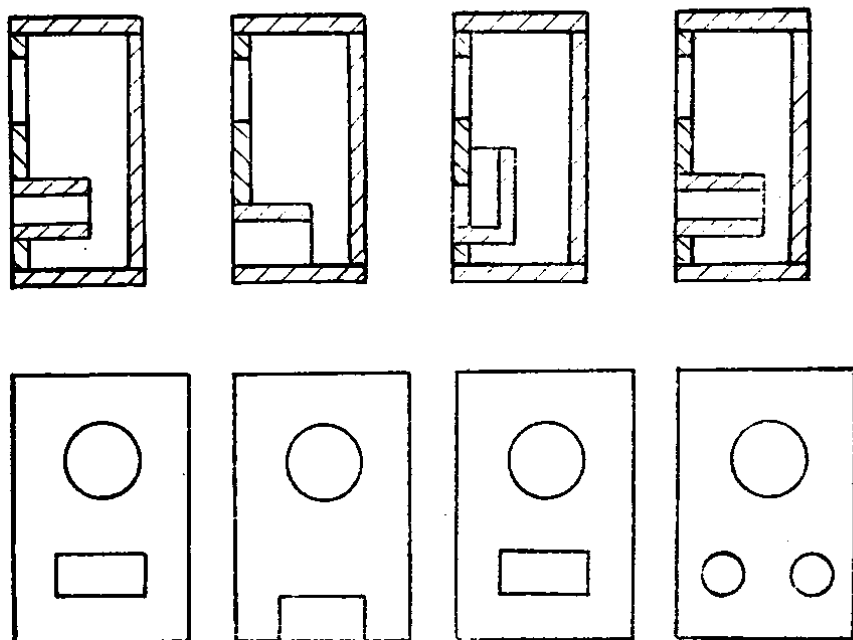


图4 各种倒相槽形状及位置示意图

2. 箱体较大。

倒相槽一般是长方体形状，也有管状的。其位置有的接近扬声器安装孔，有的在前面板底部。具体位置参阅图4。

(三) 曲径式音箱

曲径式音箱又名迷宫式音箱，因箱内设置曲折而有规律的声通道而得名，其结构如图5所示。

由于曲折声道的存在，使扬声器振动膜向箱内辐射的声波能够同振动膜向箱外辐射的声波同相位地辐射出去，从而使低频范围得到展宽，低频放音能力得到加强。

在曲折声道中敷设有吸音材料，使箱内高、中频声波得到很大衰减，有效地防止了高、中频声波引起的杂乱干扰，从而提高了低频放音的清晰度，减小了失真，改善了音质。

这种音箱可以根据不同的要求，灵活选择最佳的声通道的长度和曲折度，以获得最好的音响效果。

这种音箱的主要缺点是结构复杂，应用的较少。

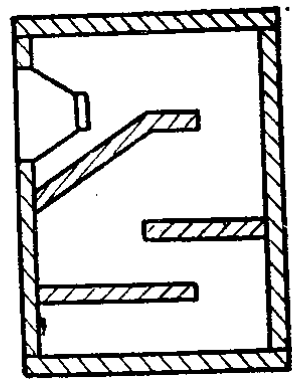


图5 曲径式音箱剖面图

(四) 号筒式音箱

号筒式音箱是通过号筒将扬声器的声波辐射出去，结构

如图 6 所示。号筒能使扬声器在低频范围内提高输出灵敏度，改善低频特性。号筒形状一般按指数规律展开。号筒口的大小与辐射声波的截止频率成反比关系，要求的截止频率越低，则号筒口的面积也越大。

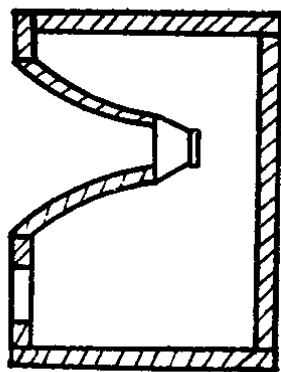


图 6 号筒式音箱剖面图

因号筒式音箱体积较大，常用于影剧院的放声系统。

(五) 空纸盆式音箱

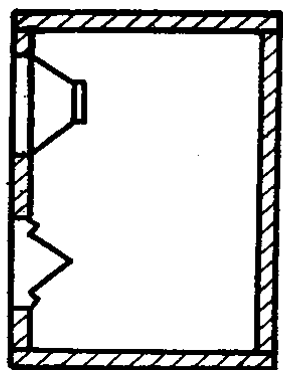


图 7 空纸盆式音箱剖面图

空纸盆式音箱就是将倒相式音箱的倒相槽用一个空纸盆来代替，结构如图 7 所示。

这种空纸盆类似于扬声器的振动膜（纸盆），大小也与扬声器的纸盆相似。扬声器振动膜振

动时，由于箱内空气的弹性作用，空纸盆亦随之振动，并向箱外辐射声波。只要空纸盆制作适当，振动的频率可以和扬声器振动膜的振动频率保持一致。另外，这种音箱的设计是按照倒相式音箱的要求进行的，故空纸盆随振动膜振动所辐射的声波与振动膜向外辐射的声波相位相同。这样，便使声能特别是低频声波的声能得到充分利用，低频响应展宽，失真减小，音质提高。

因空纸盆安装工艺要求较高，业余爱好者一般不易掌

握，而且取材不便，故未得到广泛应用。

(六) 声阻式音箱

声阻式音箱是在箱体壁板的出声孔上装有阻声材料，用以增加声阻尼，降低扬声器的低频共振频率和音箱频响的下限。它与倒相式音箱相比，在同样的低频响应效果下，箱体的体积可小些，但效率较低。

(七) 敞开式音箱

敞开式音箱就是无后盖板或虽有后盖板但孔眼星罗棋布。放声时，纸盆背面所辐射的低频声波有一部分会绕到前面与正面所辐射的低频声波互相干涉，削弱低频辐射能力，使低频特性变坏。箱体体积越小，上述现象越严重。这种音箱仅适用于对音质要求不高的场合。

二、音箱简易设计

音箱设计是一个复杂的电声学问题，方法有多种多样，我们在这里介绍通常采用的电—力—声类比法。

类比法的依据是：根据描述电振荡系统的微分方程和描述力学振动系统及声振动系统的微分方程在形式上的相似性，常将电子量与相应的力学量和声学量作类比，以便借助

电路理论来分析和计算力学振动和声学振动的问题。这种方法就称作电—力—声类比法。

电—力—声类比法常用的符号及意义如表 2 所示。

表 2 电—力—声类比符号及意义

电学量		力学量		声学量	
意义	符号	意义	符号	意义	符号
电流	i	速度	U	体积速度	U
电压	e	作用力	F	声压	P
电感	L	力质量	M_M	声质量	M_A
电容	C	力顺	C_M	声顺	C_A
电阻	R	力阻	Γ_M	声阻	R_A

电—力—声类比法中，一个重要的手段就是，将某个力学或声学系统作出它们类比于电学的等效电路，称为该系统的等效电路。等效电路的方法是电声器件或系统的研究中常用的方法。将此法应用于音箱设计，就是先根据所给定的技术指标和现有条件，确定音箱的类型，选择合适的扬声器，接着画出所要设计音箱的等效电路。再根据等效电路，进行分析和计算，得出所要求的结果。

(一) 音箱的主要电声指标及设计的一般原则

对一个音箱来说，它有哪些电声指标，这些指标大体怎样达到，这是设计音箱时必须首先掌握的。一个成品音箱，

主要有下列七项电声指标：

1. 额定功率： W （瓦）。
2. 额定阻抗（又称标称阻抗）： Z_0 （欧姆）。
3. 灵敏度： P (dB/1m1w) 在1000赫频率下测定。
4. 谐波失真。
5. 指向性。
6. 有效频率范围。
7. 不均匀度。

上述七项电声指标中(其定义可参见扬声器电声指标)，1～5项主要由组成音箱的扬声器本身的电声指标所决定。6、7项是音箱设计时的两项重要指标，而重点又在低频段。就是说，一个音箱的有效频率范围的下限频率能低到多少，以及音箱低频响应的不均匀度要求达到什么程度，这是设计音箱时应予以特别重视的。

本节所讲的音箱设计主要是指家庭用音箱设计，在设计与制作中应遵循的一般原则是：

1. 家庭用音箱一般都属于小型音箱，希望体积小巧，音质柔和逼真，而不追求过大的响度。所以，它的额定功率一般不必太大。家庭用音箱的正常工作功率一般为1～3瓦，但必须要有3～4（一般要求）或4～6倍（较高要求）的功率储备。所谓功率储备量是指音箱最大无明显失真的功率与正常工作功率的比值。因此，家庭用音箱的最大无明显失真功率应当有5～12瓦（一般要求）或10～20瓦（较高要求）。

通常标称的音箱额定功率等于最大无明显失真功率的一半，故家庭用音箱的额定功率可分别确定为3～6瓦或5～

10瓦。

2. 音质要求是音箱设计的基本要求。音质的好坏主要取决于低频段的频率响应。而低频段的频率响应又主要取决于扬声器的性能参数和箱体的种类、大小。因此，设计音箱时一定要合理选择扬声器和箱体的种类、大小。

3. 应使放声声源的有效频率范围与音箱的有效频率范围相匹配。

凡放声系统都有一个频率响应问题。频率响应就是所辐射的声压级随频率变化的特性。扬声器的典型频响曲线如图8所示。频响曲线上某两个频率之间比较平直的那一段所对应的频率范围称为有效频率范围。

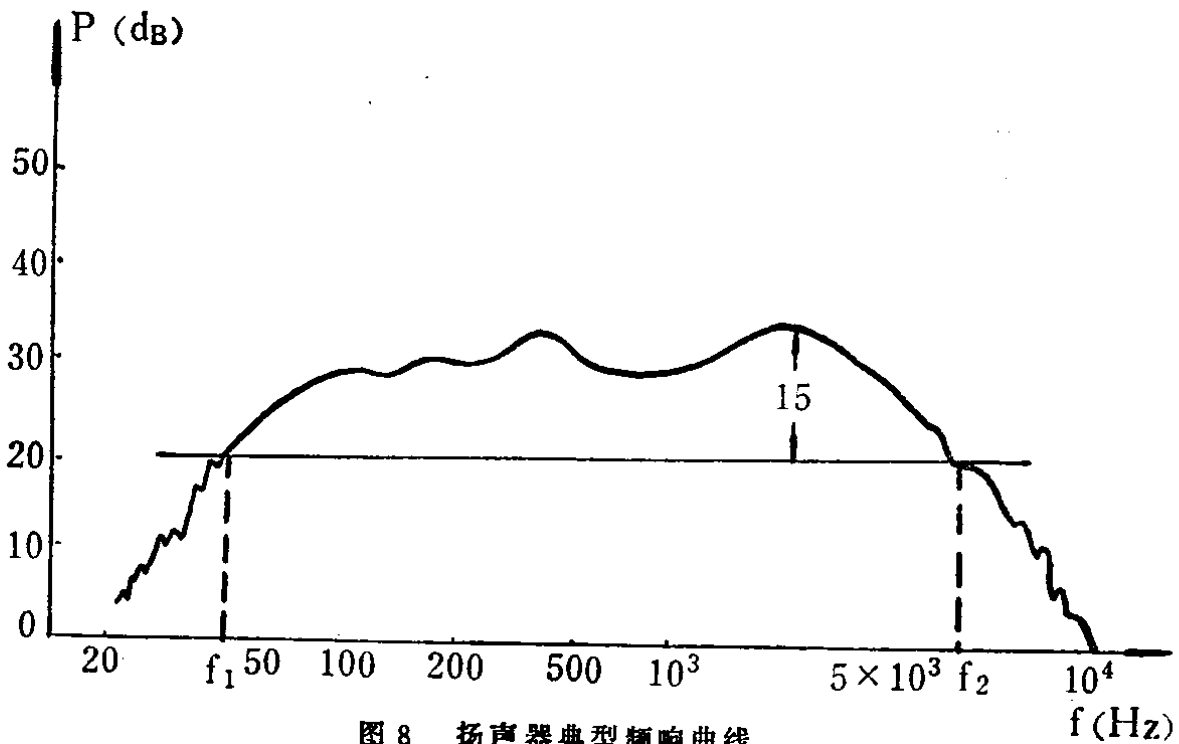


图8 扬声器典型频响曲线

这两个频率是这样确定的：在频响曲线的声压级最高处向下减小某一规定的分贝值（一般下降15分贝），通过下降点划一条与横坐标相平行的直线，它与频响曲线相交的两点