

〔苏〕 M·M·爱弗露西 著

辛 毅 译

扬声器及其应用

中国电影出版社

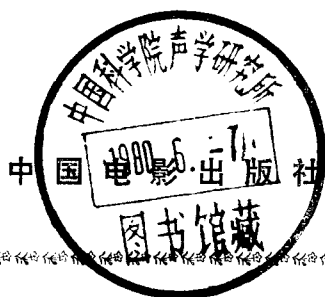
72.41341

1055/12

扬声器及其应用

〔苏〕 M·M·爱弗露西 著

辛 毅 译



1980·北京

5

М. М. ЭФРУССИ
ГРОМКОГОВОРТЕЛИ
И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

根据莫斯科《能量》出版社1976年版译出

内 容 说 明

本书比较详细地介绍了直接辐射式电动扬声器和号筒式扬声器的工作原理和结构。介绍了几种主要类型的扬声器，并着重讨论密闭式音箱和倒相式音箱等的设计方法，指出了制作音箱时的注意事项和制作的要领。对双频带和三频带组合式扬声器箱用的分频滤波器的计算和制作，也作了介绍。同时，还简略地讨论了立体声系统和电力反馈系统。对扬声器的修复、测定，以及降低扬声器的谐振频率等，也有简要的介绍。

本书可供具有中等文化程度的从事电影放音、电视、无线电广播和电声扩音的技术人员和工人阅读。对广大的无线电爱好者，也有参考价值。

扬 声 器 及 其 应 用

〔苏〕М·爱弗露西

辛 毅 译

*

中国电影出版社出版

文物出版社印刷厂印刷 新华书店发行

*

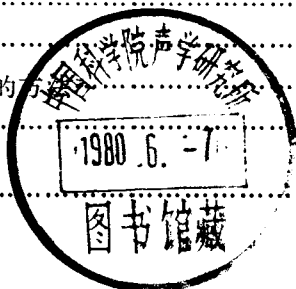
开本：787×1092毫米 1/32 · 印张：6 1/4 · 字数：120,000

1980年4月第1版 北京第1次印刷 印数：1—40,300册

统一书号：15061·152 定价：0.80元

目 录

主要的声学术语及单位	(1)
声材料的特性	(8)
关于扬声器的一般情况	(10)
直接辐射式电动扬声器的工作原理和构造	(14)
电动式扬声器及扬声器箱的主要参数	(28)
直接辐射式电动扬声器的典型结构	(51)
声柱和径向扬声器	(62)
号筒扬声器	(64)
房间的影响和扬声器箱额定功率的选择	(68)
扬声器的放音音箱	(76)
放音音箱的制作	(123)
双频带和三频带声系统	(136)
几只扬声器和几个音箱的协同工作	(157)
分布式放音系统	(160)
扬声器的定相	(161)
立体声系统	(165)
电力反馈系统	(174)
扬声器的修理	(176)
降低扬声器主共振频率的方法	(178)
扬声器箱的检查	(182)
附 录	(188)



主要的声学术语及单位

声——指在弹性介质（空气、水等）中产生并能引起人的听觉的波振动过程。

声场——指声波传播的空间范围。

声压——指静压（大气压）同声场中某一点上的压力之间的差值。瞬时声压值是指在观察的瞬时的声压。

还有最大（峰值）声压及最小声压，它们分别指最大及最小瞬时声压值。另外，还有在一个完整周期内的有效（均方）声压值。根据标准国际单位制（СИ^①）的规定，声压的单位为帕斯卡（帕）。一个帕斯卡等于在每一平方米的面积上有一牛顿的力（牛顿/米²）。在厘米—克—秒制（CGS，即 CGS 制）中，声压用每一平方厘米的面积上的达因 数来表示（达因/厘米²）；因此，1 帕 = 10 达因/厘米²。

在本书中提及“声压”这一术语时，如无专门的说明，均系指声压的有效值。

声强（原先称为：声力）——指瞬时声能通量密度的平均值。它是在单位时间内，通过垂直于声波传播方向的单位面积上的自由传播的声能通量。在标准国际单位制中，声强的单位用在每一平方米的面积上有多少瓦特的功率表示（瓦特/米²）。而在厘米—克—秒制中，声强的单位则为尔格/

① 即 SI 制 (Standard International Unit) 。——译注

(秒·厘米²)。后一单位相当于0.001瓦/米²；相反的，1瓦/米² = 10³尔格(秒·厘米²)。

如果难于确定，或是根本就不可能确定声波的传播方向，就要使用另外一种场的能量特性，即声能密度。

声能密度——指在单位体积内所包含的声能。其测量单位是焦耳/米³。

声功率——指在1秒钟内通过垂直于声能的给定面积的声能通量。其测量单位是瓦特。1瓦特 = 10⁷尔格/秒。声功率由声压值或声强值确定。

声速——确切地讲，声速就是声波的传播速度，即在单位时间内，声波在均匀的介质中所行经的路程，用每秒的米数表示(米/秒)。

声速同介质的密度及弹性有关。例如，在温度20°C及标准大气压力下，空气中的声速等于344米/秒，海水中的声速等于1504米/秒，钢中的声速等于4990米/秒，而在松木中的声速则等于3320米/秒。

振动速度——指介质分子偏离其静止位置后的振动速度。

波长——指处于相同相位的波的两个最近点之间的距离，相当于传播波在一个振动周期内所通过的距离。本书引用的公式中，波长均用米表示。

周期——指完成一个完整的振动所经历的时间。

频率——指在一秒钟内的振动次数。测量单位为赫(周)及仟赫(千周)。1千赫 = 1000赫。本书引用的公式中，频率均用赫表示。

相位——指取某一位置作起始位置后，振动分子或振动

体相对于此一位置的运动阶段。相位用弧度或角度表示。

同相性（等相性）——指交变谐波量的相同的相位。扬声器的同相连接，是指将几只扬声器的电路连接成使所产生的瞬时声压值处于相同的相位。

纯音——指由正弦波声振动所产生的声音。

噪声——指偶发性的、讨厌的或不希望听到的声音，它不包含明显地需要表达的频率部分。

白噪声——指一种复杂的声，它的频谱在用频带宽度为恒定值的频谱分析仪测定时，就是一个连续的频谱，而且在相当宽的频率范围内，此频谱均为频率的平滑函数。或是指其功率频谱密度电平在整个测定频率范围内均为恒定值的噪声信号。

粉红色噪声——指一种噪声信号，其能量频谱密度电平在频率增加时会以恒定的斜率减少，在整个测定频率范围内，此一斜率均等于每一倍频程为 3 分贝。

声频谱——指声的一种特性，用以表征对声进行分析后所获得的频率（频谱）成分。

差拍——指由两个频率相接近的声波相互干涉，而使声强在某给定点产生的周期性变化。

干涉——指同时到达某给定点的两个或更多个声波的相互作用，这样就会由于声波相位不同（位移）而使声强减弱或增强。

衍射——指声波通过某一障碍物边缘附近时所引起的声波传播方向的变化（沿障碍物弯曲）。

混响——指在密闭的房间内，声源的作用终止后的衰减性声响，它是由声波在有界表面的多次反射形成的。

混响时间——指声强减为其起始值的百万 (10^6) 分之一时所经过的时间, 此时声强级的减少为60分贝。

响度——指对声强的主观感受程度, 响度的改变大致同声强变化的对数成比例。

驻波——指两个传播方向相反 (一个入射波, 另一个反射波) 的正弦波行波的相互叠加的结果; 其特点是在传播空间的不同点上, 振幅也不相同。

多普勒现象 (效应)——指由声源的运动而产生的声调高低 (振动频率) 的变化。当声源向听者移近时, 声调就会升高。

$$f_1 = f_0 \frac{c + a}{c},$$

式中 f_1 为听到的声波的振动频率; f_0 为声源的振动频率; c 为声速; a 为声源移动的速度。

声源离开听者时, 声调就按以下的公式降低

$$f_1 = f_0 \frac{c - a}{c}。$$

声色——指由泛音的数量及强度所确定的复杂声的一种特性 (“音色”)。

泛音 (谐音)——指频率比基音的频率高出很多倍 (整数倍) 的附加音。

副音——指其频率成整数倍地低于基音频率的音。

倍频程——指一段频率间隔范围 (频带), 其上限频率与下限频率之比等于 2。

通常, 两个极限频率之比为 $f_{\text{最大}} / f_{\text{最小}} = 2^n$, 其中 n 为倍频程数。因此, 倍频程数等于以 2 为底数的这两个边频的

比值的对数。例如，当两个频率的间隔为1/3个倍频程时，这两个频率的比值是： $f_{\text{最大}}/f_{\text{最小}} = 2^{1/3} = 1.26$ 。

反过来，也可求出相当于给定频率比值的倍频程数。例如，频率的比值等于1.41时， $2^n = 1.41$ ，即 $n = 3.33 \cdot \lg 1.41$ 。用对数表或计算尺可求出 $n = 0.5$ 个倍频程。

动态范围——任何变量（例如电压或电流）的动态范围都决定于最大值和最小值的比值，即

$$D = U_{\text{最大}}/U_{\text{最小}}。$$

通常，动态范围多半用电平的对数单位来表示，即用分贝来表示：

$$D = 20 \lg \frac{U_{\text{最大}}}{U_{\text{最小}}}, \quad D = 10 \lg \frac{P_{\text{最大}}}{P_{\text{最小}}},$$

式中， U 为电压； P 为功率。

“动态范围”的概念在无线电广播技术、录音和声重放技术中有着重要的意义。电信号或声信号的最小值实际上受制于噪声电平，因此要保持某些乐器和乐队的自然动态范围，就要求有极高的信号及功率电平，而这是难于实现的，从经济上讲也不适宜。因此在无线电广播和录音技术中已将动态范围减小（压窄）。

辐射阻抗——指以空气介质一方为负载的、振动（振荡）表面（例如扬声器的纸盆）的复声阻抗。辐射阻抗由振动表面同周围介质的耦合程度来表征。

辐射阻抗具有确定辐射功率大小的有效分量，以及确定附着于辐射器上的介质质量的大小的无功分量，介质是加到辐射器本身的质量之上的。

阻尼——指振动系统中机械损耗（磨擦）的增加，它会

减少振动系统的性能。

声级（电平）——指用对数单位（分贝）表示的声信号或电信号的大小。

分贝——指声级（电平）的相对对数单位；用 μB （分贝）表示。

在实际计算及测量中，采用“声级”电平的概念后，就没有必要再计算很小的数值或分数值。另外，采用分贝的概念后，也没有必要再进行乘法或除法的运算，而代之以加法或减法，这些都可以直接从对数运算的法则来推导出（相乘数的对数等于相乘项的对数和）。

声学及电声学中广泛采用分贝来作声级单位的主要原因之一，是人耳的主观响度感受，同声强之间的关系，服从于心理生理学的规律：随着声强的变化，人耳对响度的感受大致同声强的变化的对数成比例。这就是为什么人耳能够感受的声强的动态范围极大，在中间频率上可达 10^{12} 。采用声级刻度，这样大的声强动态范围只须用120分贝就能表示出来。当从绝对值变换为声级时，就要取此一值同任意选定的同量值（零值）的比值的对数。

以分贝表示的声强级可用下式表示：

$$N_1 = 10 \lg \frac{I}{I_0},$$

式中 I 为声强； I_0 为可听阈中频率 1 千赫的声强； $I_0 = 10^{-12}$ 瓦特/米² = 10^{-9} 尔格（秒·厘米²）。

声强和声压的平方成比例（ $I = kp^2$ ），所以，用分贝表示的声压级，可由下式确定：

$$N_p = 10 \lg \frac{kp^2}{kp_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0},$$

式中 p 为给定的声压有效值，而 $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ 帕 = $2 \cdot 10^{-4}$ 达因/厘米²。

同引用声级一样，还引用了电平的概念。电平用功率或电压的比值来表示：

$$N = 10 \lg \frac{P}{P_0} = 10 \lg \frac{U^2/R}{U_0^2/R_0} = 20 \lg \frac{U}{U_0} + 10 \lg \frac{R}{R_0},$$

式中， $P_0 = 0.001$ 瓦特， $U_0 = 0.775$ 伏， $R_0 = 600$ 欧姆。 U_0 值可由功率、电压和电阻三者之间的关系式 $U_0 = \sqrt{P_0 R_0}$ 来求出。

由上述各式可知，在取得功率 P 及 P_0 的负载阻抗相等 ($R = R_0$) 的条件下，根据电压比值计算出的电平值，与根据功率比值计算出来的电平值相同。

如果根据功率来计算电平，并且 $P_0 = 0.001$ 瓦特，那么有时还在电平单位后边添加一个“毫瓦”(M)的字样，即用分贝毫瓦 (dBm) 来表示。

如果在将能量大小 (强度、功率等) 换算成声级 (电平) 时乘以 10，同时在将原始的线性量 (声压、电压、电流) 换算成声级 (电平) 时乘以 20，在这一情况下，就可以保证物理量的声级 (电平) 有相同的变化，而同该物理量用什么量来表示无关。这一点很重要，因为这就避免了可能会产生的混淆。

举例：扬声器箱所产生的声压增为 2 倍 ($p_2/p_1 = 2$) 时，声压级的改变为 6 分贝。此时如声级增达 4 倍 ($I_2/I_1 = 4$)，声强级的变化仍然为 6 分贝 ($10 \lg 4$)。

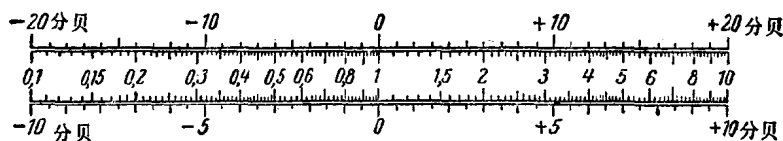


图1 将两个量的比值换算成分贝数，或反过来，由分贝数求比值的列线图。

图中，上一排刻度为声压级、电压及电流的电平；下一排刻度为声强级和功率电平；中间一排刻度为需要求分贝数的两个量的比值。

在将信号的绝对值换算成电平（声级）单位时，用对数计算尺计算就很方便：先计算出两个量的比值（换算为相应的零电平，例如 p/p_0 ），然后求出此一比值的对数，再乘以20（或10）。如果使用图1的列线图，就不用再进行这样的计算。

如果换算出的物理量（功率、电压）的电平值比零电平还低，那么这一电平应为负值（因为真分数的对数为负值）。

声材料的特性

语言及音乐是频率不同和强度不等的声的组合，它们在发声过程中是不断变化着的。歌唱家的歌声和各种器乐的乐音，虽然听起来有一定的声调，但实际上都包含有好些附加的强度不等的音——泛音（谐波），泛音的频率要比基音的频率高出好多整数倍。泛音之间的强度关系确定了音色。音调由这种复杂振动中频率最低的基音确定。在选择声重放装置及其各个环节（扩音机，扬声器箱等）所必需的频带，以及根据扩音系统的技术特性来评价扩音系统的放音质量时，都要

以自然频率范围的数据和乐器的音响特征来作依据。各种乐器所发出的声音的基音频率范围大致从16赫到4千赫，但在低频端，这一频率范围的实际下限为30赫，因为更低的器乐音是很少碰到的。因此，可以认为，器乐的基音的标准频率范围是从30赫到4千赫。然而为了保持器乐发音的特定音色，并保证有较大的自然发音，还必须能重放出器乐所产生的泛音。这就要求将重放频率范围的上限扩展为从16赫到20千赫。

语言所包含的频率范围较窄：女声的基音从200赫到1300赫，加上泛音可达8千赫；男声的基音从70赫到700赫，加上泛音可达5千赫。歌唱家的基音频率范围如下：低音从90赫到350赫，中音从130赫到500赫，高音从250赫到1200赫。

另外，各种乐器的发音和喉音还由动态范围来表征。“功率”较大的乐器，动态范围也较大。各种乐队的动态范围也不相同，它取决于用哪些乐器和用多少种乐器来产生最强及最弱的声强（最强奏及最弱奏）。交响音乐的动态范围最大，全部乐器的声强同小提琴独奏的声强的比值为65—75分贝，平均为70分贝，即相当于强度的比值为 10^7 倍。在技术上实现从30赫到16千赫的声重放频率范围是相当困难的，只能用复杂和昂贵的设备来解决。

经过精心的研究实验后，可以确定出容许的重放频率界限的标准，并为各种等级的声重放质量确定频率特性的不均匀度（苏联国家标准 ГОСТ 11515—65）。

另外还研究了用于探讨声乐的各种自然发音的静态特性。特别是对大量的发音作动态声级分布的研究，就可以解决如下的问题，即在将整个频率范围用不同的分频频率来分

割成两个部分后，可以决定出双频带系统及其等效宽频带声重放系统的额定功率间所必需的比值。例如，当分频频率为570赫时，低频部分的功率应为0.84，而高频部分的功率则为宽频带系统的功率的0.59。当分频频率为900赫时，低频部分的相对功率应为0.91，而高频部分的功率则应为0.51。当分频频率为1430赫时，低频部分的功率应为0.98，而高频部分的功率则应为宽频带系统的功率的0.40。

由此可见，随着分频频率的增加，低频和高频部分的功率比值也将会增加：分频频率为570赫时，功率的比值等于1.42；分频频率为900赫时，功率比值等于1.78；而分频频率为1430赫时，功率比值等于2.45。

关于扬声器的一般情况

扬声器是一种装在放音音箱内的将电能变换为声能量的电声变换器件。音箱的型式取决于声变换器的结构和对扬声器的声性能要求。

扬声器箱的主要器件是叫作扬声器的电声变换器。大家知道有几种类型的扬声器，它们在将电能变换为声能的方法上不一样，计有电磁式、压电式、静电式（电容器式）、热离子式和电动式扬声器。

在电磁式扬声器中，由音频电流馈电的电磁铁，对同纸盆（振膜）连在一起的软铁材料制成的铁芯产生作用，便会辐射出声音。这种扬声器在三十年代曾获得广泛应用，但目前已完全被性能更为完善的电动式扬声器所取代。

在压电式扬声器中，利用反压电效应来使纸盆产生振

动。振动来源于用任何一种压电材料切割成的晶体片所产生的机械变形。在电场的作用下，晶体片会产生变形，这一电场是由加在晶体片两个外层极片之间的音频电压所产生的。

用酒石酸钾钠盐晶体制成的压电式扬声器，它的声性能和使用指标都很低，因此未曾获得广泛的应用。但是近来却开始采用高音^①压电式扬声器，它采用的是一种压电陶瓷材料，例如，用锆酸盐、钛酸盐铅作成的半圆球（可用压电陶瓷材料来压制任何形状的变换器）。

静电式（电容器式）扬声器，是一种外形尺寸往往较大的固定电容器。电容器的一个极片，用薄层的聚合物膜片制成，在它的一个面上喷有金属层，并将这一极片当作辐射声波的振膜。另一个极片的质量较大，并且是固定的。振膜将因极片之间的相互拉力而产生振动，拉力的大小和极片间的电压成比例。这一电压由电压值相当大的固定极化电压，和重叠在极化电压上的电压值小得多的音频交流电压所组成。

静电式扬声器在重放低音方面具有众所周知的困难。问题在于，振膜在低频时的振动振幅很大，电极之间的距离便不会小，而这又会使扬声器的灵敏度降低。因此，静电式扬声器主要用于重放中频和高频。静电式扬声器的声指标并不算差，但因其外形尺寸较大，结构又比较复杂，所以只得到很少的应用。

在热离子式扬声器（电离子扬声器）中，利用离子云的脉动来辐射声波，离子云则是由强力电场中的灼热电极所产

① “高音”原文为“高频”。本书中均按习惯叫法，将高频扬声器译为高音扬声器，将低频扬声器译为低音扬声器。——译注

生的，离子云的脉动会使加到电极之间的高压电压受到音频的调制，于是便使高电压发生变化。

在热离子式扬声器中，还可以利用高频（频率约为几兆赫）电路的突然断开所产生的火焰放电，因为它是产生电离的强功率源。离子云（等离子）的脉动受调制电压调频，会使离子云周围的空气产生振动。为了增加辐射器的效率，电离子扬声器是通过一个号筒来辐射声波的。电离子扬声器的设备复杂，而且电离的空气对人的健康有害，所以并未获得实际的应用。

在电动式扬声器中，利用的是永久磁铁的磁场同由音频电流馈电的音圈磁场之间的相互作用。音圈的振动带动纸盆（振膜）振动。电动式扬声器是1926年开始出现的，多年来一直是世界上最广泛采用的一种扬声器，因为它的声指标很高和结构坚固。电动式扬声器的产量在不断地增加，目前已达到十分惊人的数量。例如，日本电子设备制作厂商所需要的直接辐射式电动扬声器的数量，仅1974年就比1972年增加了49%。苏联从1959年到1972年的十三年间，就生产了三亿二千七百万只电动扬声器。

扬声器可以直接或通过号筒向空气介质辐射声波，因而可分别叫作直接辐射式电动扬声器和号筒式扬声器。直接辐射式扬声器要比号筒式扬声器得到更广泛的应用。

宽频带的重放既可用单只扬声器（叫作宽频带扬声器）来实现，也可以用两只或更多的窄频带扬声器来实现。这些窄频带扬声器分别将宽频带的各个部分的声振动辐射出去。根据所重放的频带的不同，可将直接辐射式扬声器分别叫作低音（低频）扬声器、中音（中频）扬声器及高音（高频）

扬声器,某些业余无线电爱好者还将高音扬声器叫作“哨子”。装有两只或更多的窄频带扬声器的扬声器箱,叫作组合式音箱(分别叫作双频带和三频带音箱)。

电动扬声器还根据额定功率、音圈阻抗、结构型式和运用特点划分类型。扬声器的结构型式是指:声振动辐射器的结构(单纸盆或双纸盆,单音圈或双音圈,单个或双个扬声器),磁路系统的结构,纸盆的形状——圆形或椭圆形纸盆。扬声器的运用特点,是指工作温度、气候条件和扬声器的防潮性能。

苏联生产的扬声器和扬声器箱采用以下的标记代号:第一个数字表示扬声器的额定功率,字母 ГД 表示电动扬声器,字母 КЗ 表示声柱,字母 МАС 表示小型音箱;第二个数字表示扬声器(扬声器箱)的制造序号;第三个数字表示扬声器活动系统的机械谐振频率。专供热带使用的扬声器和扬声器箱,还在标注的末尾添加一个字母 Т。

直接辐射式电动扬声器的放音音箱(其中也包括小型收音机)中,最普遍采用的型式是密闭式音箱;其次是倒相式音箱,而居第三位的是曲径式音箱和号筒。

固定式单声道的电唱收音机、录音机和某些电唱机,往往制成敞开式的音箱,但是密闭式音箱和倒相式音箱却越来越引起人们的重视。例如,国外1969年制作的密闭式音箱约占45%,倒相式音箱约占15%;但到了1973年,此两种类型的音箱已分别增加到54%和29%。