

扬声器放音系统实践

543

福建科学技术出版社

扬声器放音系统实践

唐道济 编著

•

福建科学技术出版社出版

(福州得贵巷27号)

福建省新华书店发行

三明市印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 3印张 63千字

1984年10月第1版

1984年10月第1次印刷

印数：1—10,570

书号：15211·45 定价：0.44元

第 0

序

随着人民文化生活水平不断提高，对音响设备的高质量声音重放就提出了更高的要求，这中间涉及的不仅是高质量的音频放大器，更主要的还要有一个高质量的扬声器放音系统来实现声音的真实重放。因为在音响设备中，扬声器放音系统对音质的影响，通常比任何其他部件都大。

本书从声音和听觉特性谈起，再介绍各种扬声器的性能、结构、特点和使用维护，然后讨论各种基本类型扬声器箱（音箱）的结构、性能、特点和设计方法，并对各类扬声器箱作了对比。对扬声器箱的制作、分频网络、综合特性的校正、以及立体声重放等均有专章论述。附录部分，列出了实际工作中有用的资料。全书力图以深入浅出的方法，论述侧重实用，避免抽象的数学推导和繁琐的理论分析，以简单的物理概念、大量图表说明和简化的公式，使读者能理解及计算扬声器放音系统的有关问题，并对国外的某些进展作了必要的阐述。

鉴于目前社会上有关扬声器放音系统存在着概念上的混淆和不确切的认识，使得广大业余爱好者在实现高质量的声音重放时，感到无所适从，作者希望通过本书能对上述工作有所帮助，对普及和提高起一个桥梁作用。但由于作者业务水平有限，错误难免，欠妥之处，恳切希望读者们批评教正。

本书在编写过程中，曾蒙不少同志给予热情支持，并提供了大量宝贵的资料和意见，在此表示衷心的感谢。

编者

目 录

一	听觉和声音	(1)
二	扬声器	(11)
§ 1	扬声器的原理与结构	(11)
§ 2	扬声器的分类	(15)
§ 3	扬声器的特性参数	(18)
§ 4	扬声器的使用与维护	(23)
三	基本扬声器箱概述	(24)
§ 1	后壁敞开式扬声器箱	(26)
§ 2	密闭式扬声器箱	(27)
§ 3	倒相式扬声器箱	(29)
§ 4	“迷宫”式扬声器箱	(35)
§ 5	号筒式扬声器箱	(36)
§ 6	声柱	(38)
四	扬声器箱的制作	(39)
五	扬声器的分频网络	(48)
六	放音系统的辐射方向特性	(55)
七	放音系统的综合特性及校正	(59)
八	立体声重放	(62)
	附录	(68)
1	扬声器固有谐振频率的测定	(68)
2	扬声器振动系统等效质量的测定	(68)
3	扬声器相位极性的测定	(69)

4	分频网络电感的计算.....	(69)
5	典型的分频网络.....	(70)
6	典型的扬声器箱.....	(71)
7	扬声器的修理.....	(80)
8	扬声器箱故障分析.....	(83)
9	一些国产扬声器特性.....	(84)

一、听觉和声音

声音是由声源的振动而产生，它具有波的性质。当声波在空气中传播时，将产生空气密度的稀和密的周期交替变化。同理，空气密度的变化会造成压力的变化——声压。声音传播的速度 c ，由传播声波的介质性质和温度决定，温度越高，声速越快。当温度为 20°C ，在海平面上时，声波在空气中的速度为 344m/s ，它与波长 λ 和频率 f 的关系可用下式表示：

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

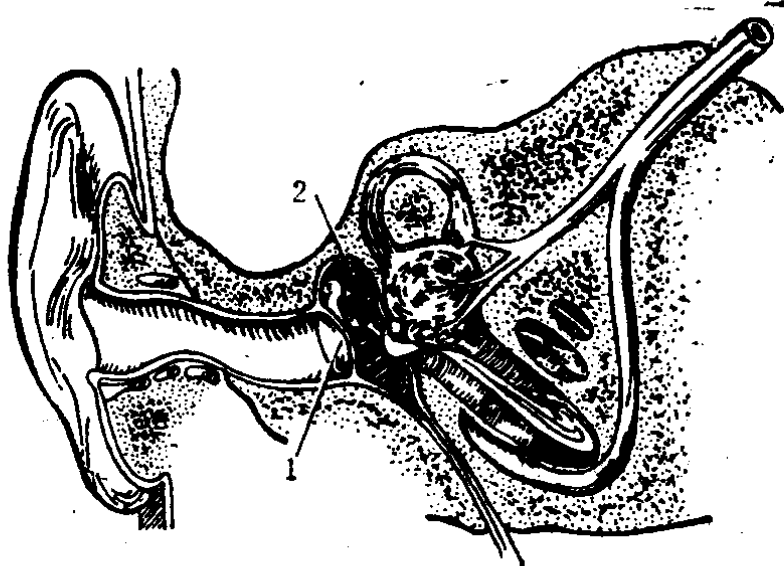


图1—1

人的听觉器官是耳朵。空气中的纵波通过人耳到达大脑时，会引起声音感觉。人耳的构造如图1—1。人对声音的主观概念，包括响度、音调、音色、噪声干扰和声象的定位。

声音特性的三大要素是：

①响度（声波幅度），是纯属主观的量，声波的振幅越大，听到的声音越响，但两者并无线性关系；

②音调（声波频率），是把声音分辨成“高”或“低”的感觉属性，与声波的频率有关，但并无相对关系；

③音色（声波波形），是确定每一声音独特性质的感觉属性，它与声波中谐波的数量及强度有关。决定一个声音的是基频，这个基频同时产生出许多整数倍的倍频，这些倍频就称为泛音（谐音）。声音的实际音质，取决于其泛音。

一般所谓声音主要是指可听频率范围的声波而言，它们都由基音及附加的泛音组成。可闻声波起源于振动的弦（如小提琴的弦、人的声带）、振动的空气柱（如风琴管、单簧管）、振动的板与膜（如鼓、木琴、扬声器）等。这时声音的振动频率为 $16\sim 20000\text{Hz}$ （赫兹）。频率越高，则音调越尖，当频率在 15000Hz 左右时，就趋向于一种高的嘶嘶声。人耳对其感觉的范围则随人的体质及年龄而异，对人耳可闻的最低频率的正确测定是困难的，一般在 20Hz 左右。人耳最高可闻频率平均为 16000Hz ，但随年龄增长而下降，如 $50\sim 60$ 岁的老人就降到 10000Hz 以下（如 6000Hz 左右）。而且只有当声波振动的幅度达到一定程度时，人耳才能感到声音的存在。我们将耳朵刚可听到的最小声音压力称为听觉阈，当声音强度达到一定程度时，将使听者产生疼痛感觉的这个声音压力，则称痛觉阈，见图1—2。另外，人耳对不同频率声音的灵敏度也是不同的，尤其是在低电平时，而且因人而异，以 $1000\sim 3000\text{Hz}$ 范围内最灵敏，如图1—3。人耳对声音的响度感觉与声压有关，声压越大则响度越高，而且人耳的感觉与声音强度变化的对数成正比。人耳听到声音的响度，不

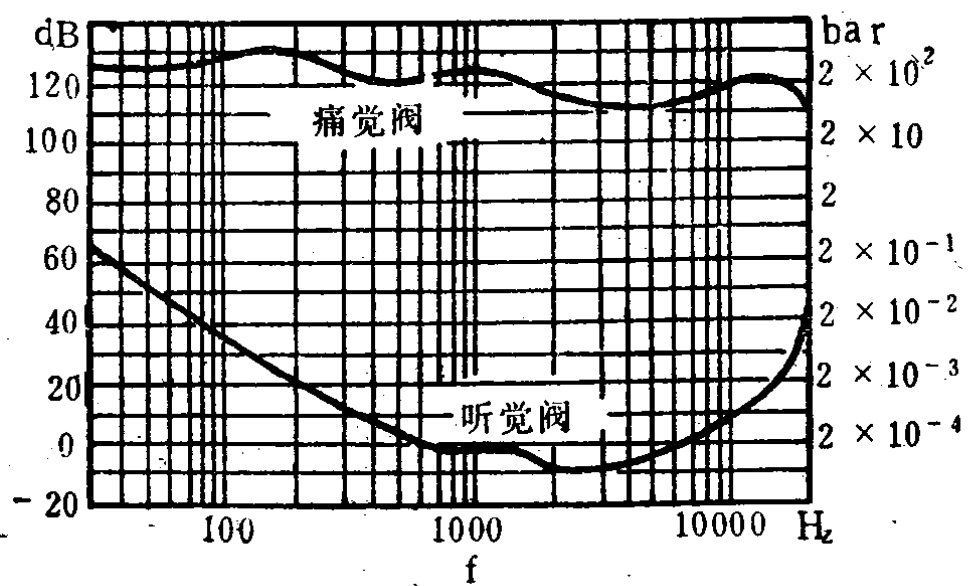


图1—2

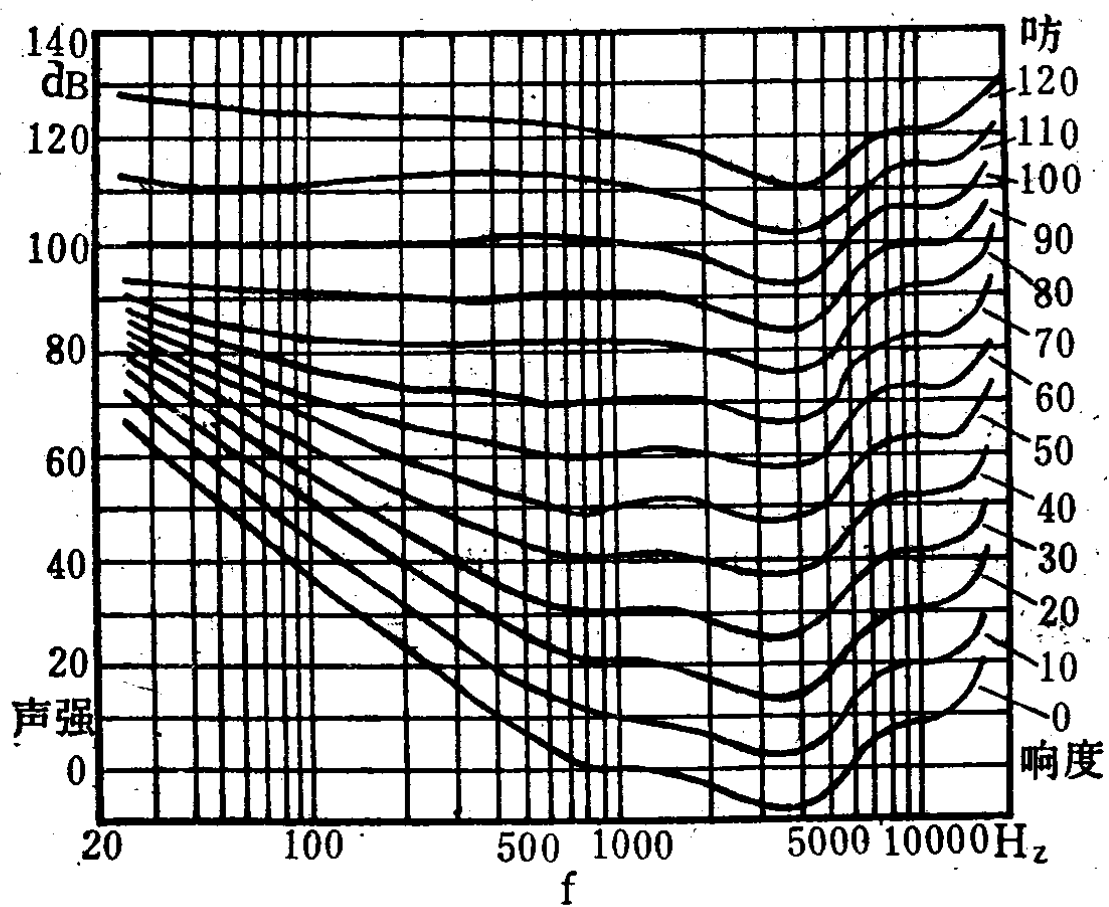


图1—3

仅取决于声音的强度，还和声音的频率有关。

人们单只耳朵可判定响度、音调、音色和方向以外声音的每一属性。但单耳仅能大致辨别声源方向，不能准确确定声源的方向和它确切的位置。当加上另一只耳朵后，由于从某一声源发出的声波传到两只耳朵的距离不等，声音到达两耳便产生时间差和强度差。依靠了两耳间存在的时间差和强度差，就能提供声源的位置。频率低于1000Hz的声波，在到达两只耳朵时，幅度很接近，但产生时间差。频率高于1000Hz的声波，鉴于两耳间距离大于声波波长，头部产生遮蔽作用，到达两耳的声音就产生强度差。

各频率的声能并非均匀分布，而是随声源不同而异。图1—4为各种乐器的基本频率范围，它表征了重放各种乐器声音时，必要的频率范围，是高保真声音重放的目标。

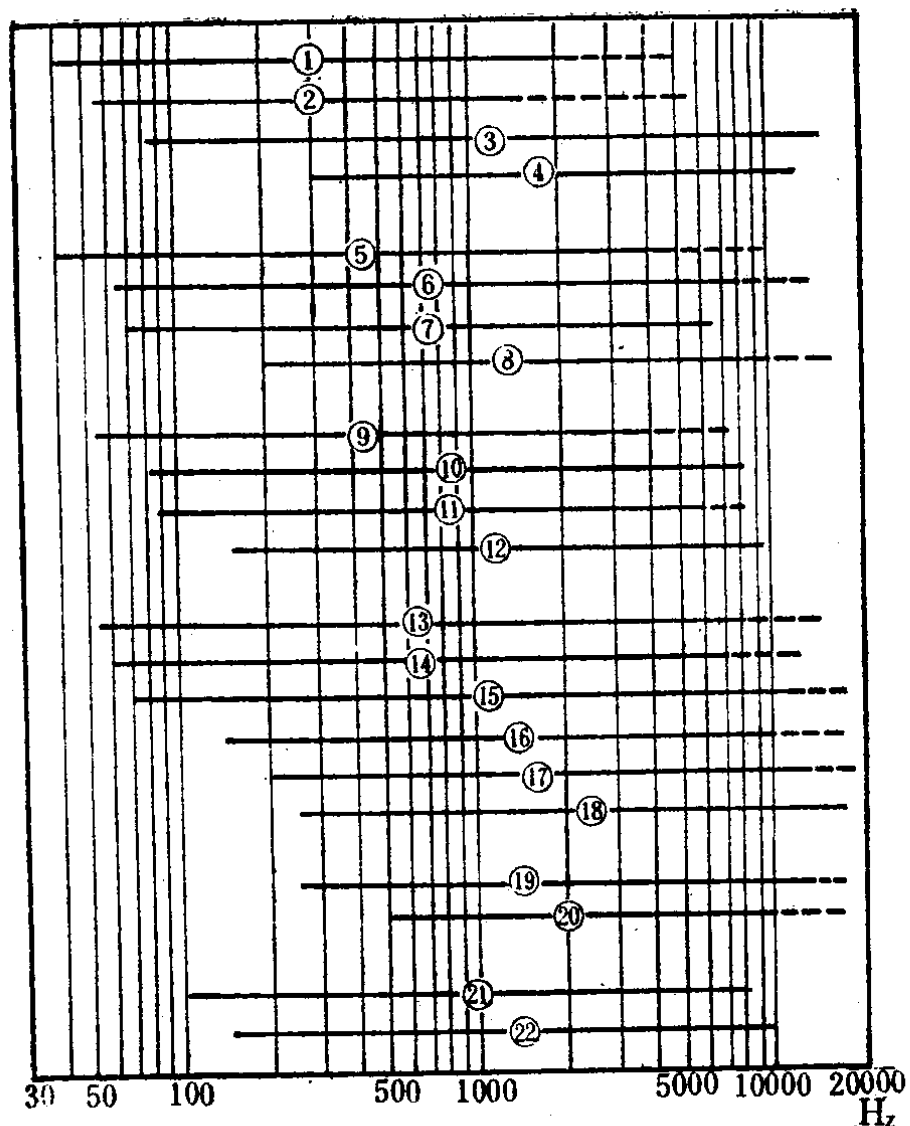
语言和音乐都具有脉冲性质。它们是一系列连续的宽度与强度不等，频率也不相同的声脉冲的组合，所以具有瞬变特性。把声音高保真地重现，就要保证准确地保持脉冲的波形和宽度，就应该研究有关系统的良好瞬态特性。

当空间出现声波时，大气压中将引起压强的变化，这种压强的变化部分叫做声压，它以微巴（ μ bar）作计量单位。为了方便，实用上以分贝（dB）作声压单位，这时我们把人耳刚能听到的1000Hz频率声音的声压（ 0.0002μ bar）作为基准，即0dB。这时以0dB作基准的声压级表示为：

$$L_p = 20 \lg \frac{P_1}{P_0}$$

式中， L_p ——声压级（dB）； P_0 ——基准声压； P_1 ——待测声压。

当声压超过120dB时，听者就会产生发痒和疼痛的感



- ①定音鼓 ②低音鼓 ③圈套鼓 ④14" 钹 ⑤低音提琴 ⑥大提琴
 ⑦钢琴 ⑧小提琴 ⑨低音大号 ⑩长号(拉管) ⑪法国号(圆号)
 ⑫小号 ⑬低音萨克管 ⑭巴松管(大管) ⑮低音单簧管 ⑯单簧管
 (黑管) ⑰高音萨克管 ⑱双簧管 ⑲长笛 ⑳短笛 ㉑男声 ㉒女声

图1—4

觉，故一般声压级都在 130dB 以下，表1—1中列出了一些声源的例子；表1—2为某些声音的噪声级别及声压例。

当以 dB 为单位表示功率时，取 10^{-12} W 为基准声功率。这时声功率级可由下式求得，

$$L_w = 10 \lg \frac{W_1}{W_0}$$

表1—1

声源	声压级 (dB)	声功率 (W)
喷气飞机	150	1000
汽车	110	0.1
钢琴	103	20×10^{-3}
对话	73	20×10^{-6}
轻声耳语	30	10^{-9}
最低可闻声音	0	10^{-12}

表1—2

噪声	声压级 dB	声压 μbar	典型例
震耳欲聋	120	200	离喷气式飞机150m；锅炉厂内部； “爆破声”乐队；蒸气喇叭在5m处；
	110	63	
	100	20	
非常响亮	90	6.3	地下铁道列车内部；热闹的道路； 机械车间；小卡车在7.5m处；
	80	2	
响 亮	70	0.63	嘈杂的办公室；小卡车内部； 大的车间；
	60	0.2	
适 度	50	0.063	在1m处的标准谈话；城市房间； 安静的办公室；农村的房间；
	40	0.02	
微 弱	30	0.0063	公共图书馆；轻声的谈话； 纸张撕裂声；耳语；
	20	0.002	
非常微弱	10	0.00063	安静的教室；农村的深夜 隔音的房间；听觉的阈值。
	0	0.0002	

式中, L_s ——声功率级(dB); W_0 ——基准声功率;
 W_1 ——待测声功率。

由上式可知, 当声压加倍时, 声压级增加 6dB, 而声功率级则增加 3dB。人耳对 1dB 的声压变化几乎觉察不出, 刚能觉察的变化为 3dB, 5dB 的变化才感觉明显, 对 10dB 的声压变化, 其响度感觉变化为 1 倍。

声音信号的最小值与最大值之比, 即其有用的音量范围, 称为动态范围。各种声源的动态范围并不相同, 如大型交响乐队的音量变化平均达 70dB, 即强度的比值达 10^7 倍! 而语言仅 25~30dB 左右。

为使声音真实地重放, 下述几点是需要了解的。

1. 最大声压级: 要使交响乐真实重放, 要求在音乐厅(或房间)的最大声压级约为 100dB。它是由音乐节目中不时出现的短促峰值组成。
2. 平均声压级: 由实验可知, 在普通家庭中重放音乐, 声压级的平均值约需 75dB。它表征了节目放声的实际响度。
3. 声输出功率: 声源的声能量用声功率表示, 它是指在单位时间内声源向空间辐射的总声能量。乐队演奏的声压级最大值与平均值通常有 20dB 的差异。实用上, 声音重放的最大声压级可取比平均水准高 10dB。这时最大声压级为 80~90dB, 平均声压级为 70~80dB。对于重放音乐时, 在不同容积室内所需的最大声输出功率, 作者提供一个简单的实用经验计算式:

$$W_s \approx \frac{V}{1800}$$

式中, W ——声输出功率(W); V ——房间容积(m^3)。

声源距离与声压级的关系, 可见图1—5。

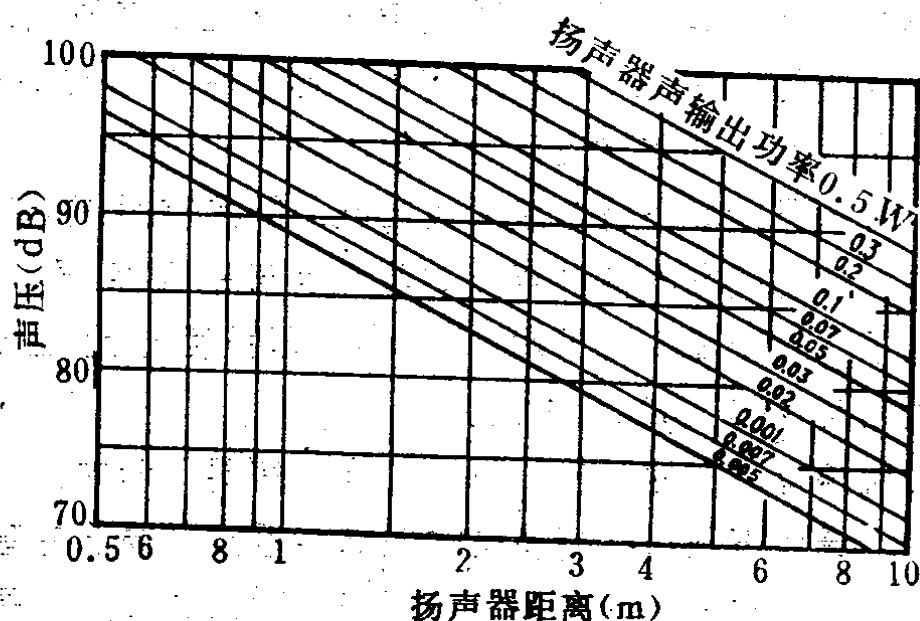


图1—5

距声源不同距离处的声压级也可由下式求得:

$$L_{ML} \approx L_M - 20l_m$$

式中, L_{ML} ——收听点声压级(dB); L_M ——声源最大输出声压级(dB); L_m ——声源与听者间距离(m)。

由式可知, 当声源距离增大2倍时的点的声压级下降约6dB, 距离增大到3倍时, 下降10dB左右。

4. 扬声器的效率: 扬声器的电功率输入与声功率输出之比即为其效率。该效率随扬声器的口径及结构而不同, 通常直接辐射型扬声器在0.5~2%, 号筒型则在4~10%。一般直接辐射的纸盆电动

式扬声器可取1%左右，故扬声器的电功率输入应是声功率输出的100倍左右。

5. 交混回响时间：简称混响时间，也称残响时间。声波在辐射过程中，室内的地板、墙壁、天花板和家具等对声音的辐射具有吸收及反射作用，所以当声源停止发声时，室内的声音并不能立时消失，这个声音产生延续而逐渐消失的过程时间，就称混响时间。一般混响时间是指声音频率为200~400Hz时，在某空间内声压级降低60dB (10⁶倍)所需的时间。当混响时间过长时，前面的声音还未曾完全消失，后来的声音却已传到，会使声音混浊不清，就将扰乱声音的清晰度；混响时间过短，声音响度将降低，而且干涩不圆润，同样会造成声音质量的变差。

实践告诉我们，房间的容积越大，室内的吸音物体越少，则混响时间越长，可见室内的混响时间可由吸音物体的多少来进行调整。

声音重放质量的评价与人的主观因素有着极其密切的关系，但人的主观感受又不可能以任何测量仪表所完全反映。因此，对于声音的高质量重放技术，就带来了更多的复杂性。这也是对于一个放音系统的最后评价，还须考虑到人的主观感觉这个因素进行“听音评价”的原因所在。但对于参加听音评价人员的主观习惯、偏爱、音乐修养等至关重要，否则很可能会使这种评价成为毫无价值。

通常认为适于音质评价的术语，可由下列属性构成：

主要属性	{	响度大——响度小	(响度)
		音调高——音调低	(音调)
		愉快——不愉快	(愉快度)

副属性	{	清澄——浑浊	(谐和度)
		明亮——灰暗	(明亮度)
		丰满——干瘪	(丰满度)
		圆润——粗噪	(圆润度)

听音评价可以反复两次重放相同的一段乐音来进行。乐曲可分别选以弦乐为主的管弦乐和以打击乐和铜管乐为主的管弦乐。为保证可靠的记忆力，乐曲的最长时间不应超过20秒，所以应该是一个乐句不中断的片断。

一个优良的音频系统的放音，应该低音不浑，中音不硬，高音不毛；感觉丰满、明亮、清晰；谐和层次好，主体感强，具有临场感。

二、扬 声 器

扬声器是一种电声换能装置，它将音频放大器放大得到的电信号转换成音响信号——声波，声波再向室内或室外空间辐射传送。它直接影响到声音重放的质量，所以扬声器性能的优良与否是极为重要的。一个音响设备的最终音响效果，可以说要根据扬声器系统的性能而定。

最早的扬声器是由电话受话器发展而来的电磁式扬声器，利用膜片或舌簧在磁场中振动发声，带有一个喇叭形金属号筒，这种扬声器不仅音质很差，而且灵敏度极低。后来，发明了用纸盆号筒推动空气发声的舌簧式扬声器，但这种扬声器的高、低频灵敏度仍很差，还有金属样音质，而且不能承受大的功率。

1925年，赖斯和凯洛格发明了电动式扬声器(动圈扬声器)，这种扬声器结构简单，频率响应宽、音质好、承受功率大。尽管目前普遍使用的电动扬声器的具体结构变化很大，但其工作原理及基本结构至今仍无大变。

§ 1 扬声器的原理与结构

一般放音设备使用的扬声器均属电动式直接辐射扬声器(图2—1)。电动式扬声器的工作原理是基于固定磁场与载流导线磁场的相互作用，由于电流方向不同而被推到磁场的某一边。这载流导线以线圈形式置于磁场中，称为音圈，音圈与纸盆连结，音圈再带动纸盆作振动而激起空气的振动。