

专 业 音 响

实
用
知
识
讲
座

第一章 概述

一、 音响的含义

音响，在 97 年之前还没有人对音响一词作出比较全面、规范的解释。日本的词典上有音响一词，它的解释是：音、响、音响学、声学的意思；近代词典上解释为：“音响效果、演奏效果”（又作声音解释）；我国辞源辞海上没有这个词。有些小词典上也解释为“音响效果”。一般英语的 AUDIO 现在都译为“音响”，其解释为“音频的、听觉的、可闻的”，和 AUDILE 的解释大致相同。

我国录音师协会对音响的含义解释如下：音响是指经过加工修饰的、达到一定电声指标的、满足特定环境需要的声响，是现代科学技术和艺术相结合的产物。

二、 音响调音员的定义

中华人民共和国劳动和社会保障部 2000 年 6 号令规定，国家实行先培训后上岗的就业制度，用人单位招用该工种（职业）人员，必须从取得相应职业资格证书的人员中录取。音响调音员工种已经在 1999 年前，68 个工种必须持证上岗文件中做了强制性规定。

音响调音员的职业代码为：6—19—03—05。

音响调音员的定义是指：歌舞厅、节目制作间及音乐文艺演出、公众场管等场所运用专用设备，对声源的音量、音调、音色进行调控的人员。

三、 音响专业的定义

音响专业是一种艺术加技术的专业，涉及艺术、美学、电声学、音乐声学、建筑声学、心理声学、生理声学等多学科的边缘学科的专业。

四、 音响技术的特点

音响和与之相关的、为其研究发展服务的学科和与之关系密切的工程技术及调音技术，都和现代和电子技术、计算机技术、精密加工技术、半导体技术、化工技术、冶金技术、人体工程技术有着千丝万缕的联系。同时，由于音响产品的特殊性，又要求从事音响行业的人员有一定的艺术和音乐修养，还要有双好耳朵。可以这样说，音响产品是世界上为数极少的、仅靠技术指标不能定其优劣的产品。从事与音响调音有关的职业也不是仅靠科学技术知识就能胜任的职业。

与声音有关的一些理论是相当抽象的，而实用音响技术要求相对简单和具体。就实用而言，要求从业者具有一定的艺术修养，要有一双好耳朵，能对声音有一定的认识。从事音响行业的人，就是要通过自己对声音的认识，利用自己所掌握的技术，创造出大多数人都认可的好声音，这可

以说是最主要的一个特点吧。

五、 音响系统的组成

为了使大家有一个形象的认识，这里把音响系统比喻成一条链子，称音响链，如图一所示：

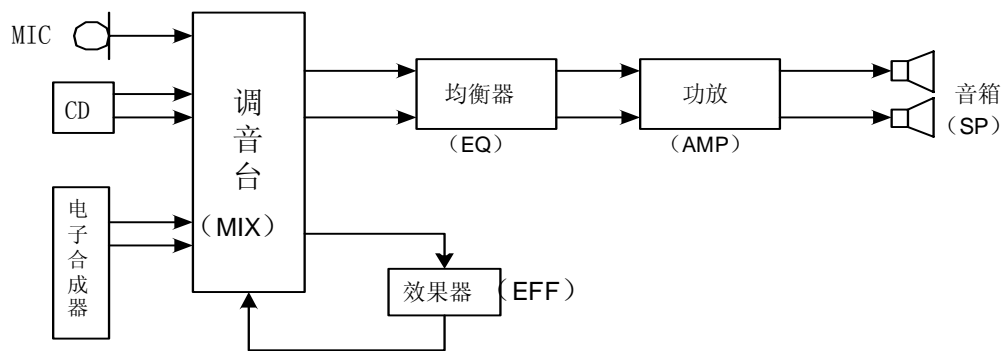


图 1 最简单的专业音响系统方框图

除去 EQ 和 EFF 之后，整个系统将变成最基本的音响系统，它也能工作。

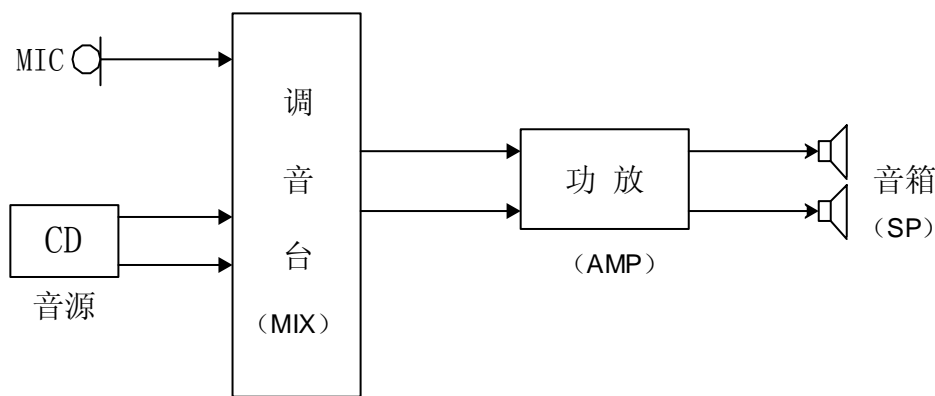


图 2 最基本的音响系统方框图

1、音源 这条链的头是各种音源，可分为三类，一是 CD 机、影碟机、卡座等，它们向调音台提供幅度为 1V 左右的线路电平信号；另一类是话筒，通过它将人声和乐器声转变成电信号送入调音台，这类信号的幅度一般都很低，只有几个毫伏到几十个毫伏，要用屏蔽效果好的专用信号线传输。第三类是电声或电子乐器，它们直接输出 1V 左右的线路电平，在这一点上与第

一类音源相同。

2、调音台 是音响链的核心，这是一种有若干路相同输入单元，能同时接受多路信号的集放大、处理、混合、分配为一身的音频处理器材，这里仅粗略地介绍一下它的作用。

(1)、**放大**：是将各种不同的信号按需要进行放大，使其达到一定的电平值。

(2)、**处理**：主要是对各种信号按需要进行比例调节和频率均衡，即对各种信号的强弱和高、中、低音进行调节，使总的节目听起来均衡悦耳。

(3)、**混合**：是将多路信号混合成一路或两路，信号输出一般要求音响的配置以两声道的方式为标准形式。

(4)、**分配**：在普通的扩音系统中，主要是按需要把未经混合的某一路或几路信号取一部分送入别的音频处理器材进行处理，或者将已混合的信号分出一路或几路作其它用。（例如录音、返听、辅助、监听）

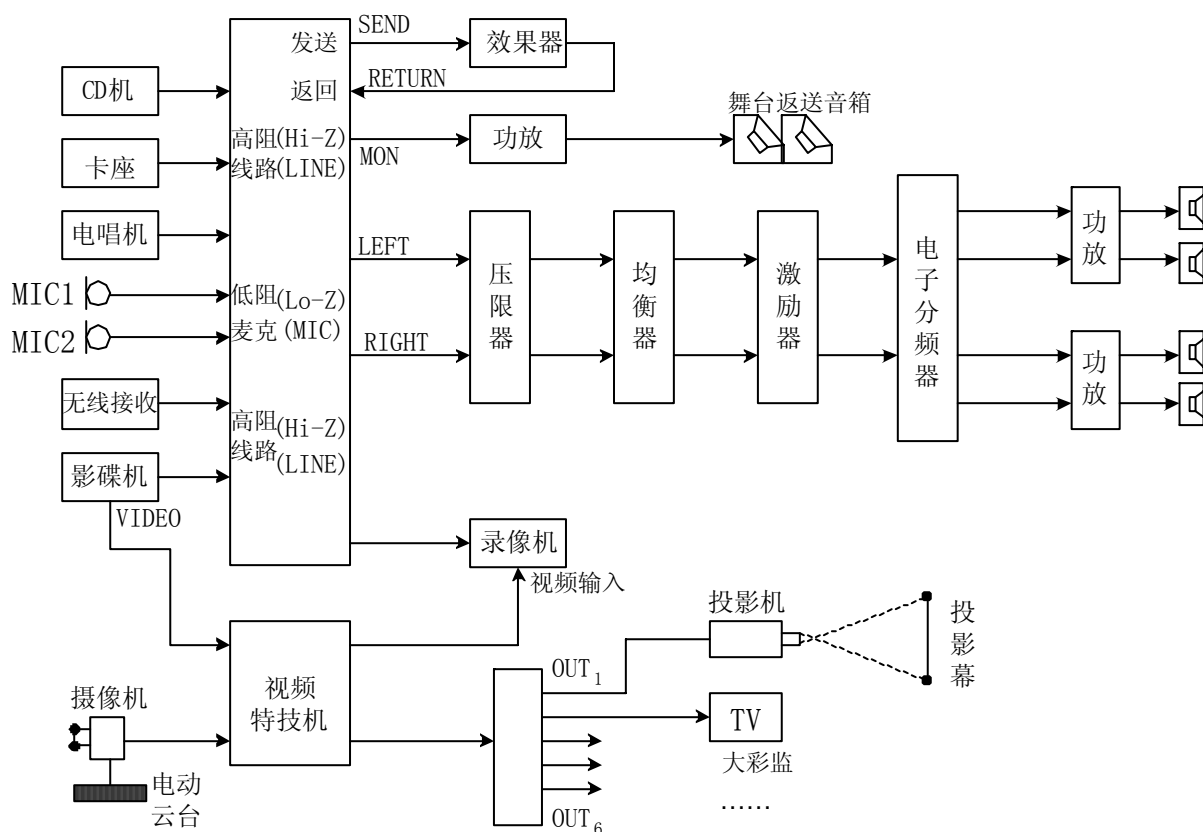
3、房间均衡器 也叫图形均衡器。它的作用是改善音响系统自身的频率响应，以适应厅堂的建声特点，使系统能稳定的工作，并在厅堂里取得较好的音响效果。

4、功率放大器 它是把来自前级的线路信号进行功率放大（高电压约数十伏，大电流约数安培），将音频信号馈入扬声器（即音箱）。

5、音箱 是音响链的最后一个环节，它是一个换能设备，将电信号转变成扬声器振膜的振动，从而使人耳听到响亮的声音。

6、效果器 在普通的专业音响系统中的作用是美化声音，主要是人声。由于调音台具有信号分配功能，调音师可以将欲美化的声音在混合之前取一些出来通过专门的接口送往效果器，效果器对这个声音进行处理后又将它通过调音台上专门的接口回送并与调音台总输出信号混合，这样音箱就播放了含有经过处理的信号。对人声来说，主要是混响效果信号。这种人工效果可以对进入调音台的任何一路或多路信号进行处理，十分灵活。

以上就完成了对一个最简单，但又实用的专业音响系统的介绍，任何大的或复杂的系统，都是在这样的系统中派生出来的。例如，[下面是典型歌舞厅音响系统的组成图：](#)



下面我们再归纳一下声音的走向：

各种强弱不等的声音信号进入调音台以后，得到不同程度的放大，放大后的声音信号经过调音师的处理各自以适当的强度进行混合，混合后的信号再加上效果器送来的效果信号就成为调音台输出的总信号，总信号进入房间均衡器后进行了一次加工（这次加工的依据是音响系统所处厅堂的建声特点），然后由功放将信号进行放大，最后推动音箱发声。需要强调，效果器自身并不产生信号，而是由调音台向它提供所需的激励信号，至于什么信号需要美化，由调音师决定。

第二章 声学基本知识和专业名词

作为一个操作音响的人员连最基本的声学知识都不了解，他将无法真正操作好音响设备，连一些专业名词无法理解，他不是合格的音响操作人员。

一、声音的物理特性

(一) 声音的直线传播特性

1、声音的产生：声音是由物体振动引起空气的波动，传到耳膜，经过听觉神经听到声音。

声源：发生声音的振动源叫作声源。

声波：由声源引起媒质的振动形成声波。

声场：声波传播的空间叫作声场。

声音在空气中是以一疏一密的纵波传播的。为什么叫“纵波”，因为它进行方向和传播方向一致

2、声速与波长

声波在单位时间内传播的距离称为声速，常用符号“C”表示，单位是米/秒（M/S）。一般来说声速只和传播媒质及其状态有关，在标准大气压下和温度为 20° C 时，空气中的声速为 344 米/秒；15° C 时为 340 米/秒，工程计算一般取 344 米/秒（因为温度和湿度对声速影响比较大，温度每增加 1° C，声速增加 2 英尺）。如果声波在水中传播，声速约为 1485 米/秒，在海水中 1500 米/秒，在木材中为 3320 米/秒，在钢材中则为 5000 米/秒。

声速在室内声学设计和扩声技术中应用很多，一般以毫秒计算，即千分之一秒，1S/1000，简写 MS。

声波振动一周所传播的距离为波长，常用符号“λ”表示，单位是米（M）。声波的波长与声速和频率的关早期反射声都控制在 50MS 以内，在常温下 50MS 所传播的距离为 340M 0.05=17M，要记牢这个数值，它是一个界限，50MS 以内的早期反射声，有助于加强直达声。超过 50MS 的反射声会影响清晰度。系如下：

$$\lambda = C/f \quad f \text{ 为频率}$$

由此可见，相同条件下，频率越高，波长越短。例如，常温空气中，频率为 20HZ 声波的波长为 17.20 米，频率为 5 千赫的声波波长为 0.0688 米。

3、反射、折射和透射

声音在传播过程中，遇到墙壁等障碍物时，一部分声波在分界面处将改变传播方向返回到原来的媒质中去，而另一部分声波则以新的传播方向进入到新的媒质中去，并在新的媒质中继续向前传播。这种就是声波的反射和折射现象。声波的反射和折射同样满足反射和折射定理，声波在室内的多次反射是形成混响的主要原因。

声透射则是指声波在多层媒质中传播经历了分界面的多次折射后，透过中间各层到达最后一种媒质的现象。

4、声波的衍射和散射

声波遇到墙壁或其它障碍物时还会在边角上沿着物体的边缘而“弯曲”传播，这种现象被称为声绕射（或声衍射）。研究表明，衍射的程度取决于声波的波长与障碍物线度的相对大小，即波长对障碍物线度的比值越大，衍射愈强，反之亦然。如果障碍物的线度比波长大许多，虽然还有衍射现象，但是在障碍物的边缘附近将形成一个明显的没有声波的区域（声影区）。通常认为物体线度小于 $\lambda \sim 5\lambda$ 时，入射声波基本上会绕过物体；相当于 $5\lambda \sim 10\lambda$ 时还有一些绕射；接近于 30λ 时，几乎完全被遮挡。图 1.1.1 所示的几个例子可以帮我们了解声绕射出现的一些情况。

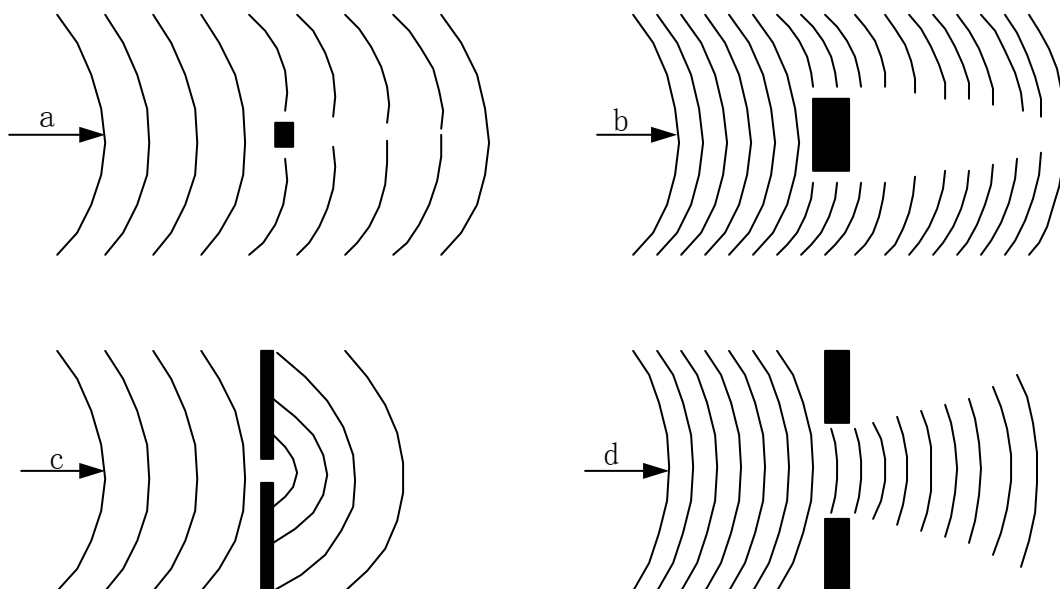


图 1.1.1 声波的绕射现象

图 1.1.1 中，障碍物好比是卡拉 OK 厅中的一根柱子，会在它后面的客人的视线完全被柱子所遮挡，但仍然可以听到来自舞台上的大部分声音。这是因为波长随频率高低而有很大的差异，只有那些频率较高，波长比柱子直径小很多的声波，才会在柱子后面形成声影区。例如，坐标在直径 1 米的圆柱后面，对于 1700 赫（ $\lambda = 0.2$ 米）以上的高频声波有明显的遮挡作用。至于大部分频率较低，波长与柱子直径接近或大得多的声波，由于声绕射现象的存在，柱子几乎不起遮挡作用。

另一方面，利用柱面反射声音，只有声波长小于或者接近柱子直径的声波，才会被有效地反射。例如，要使 200 赫以上频率的声波有效地反射，柱面的尺度至少要 1.7 米左右。当然，柱面对声音的反射程度和它的表面有关，但这里只谈尺度关系。

图 1.1.1 中，障碍物好比一座高大的围墙，对于波长比围墙尺寸小得多的声音，能够产生明显的声影区。当然墙边上还会出现一些绕射现象，但只限于局部范围。

和上面情况成对照的是，当声波通过一个洞孔时往往会产生明显的衍射现象，洞口好象是一个新的点声源，如图 1.1.1 所示，这是由于声波波长比洞孔尺寸大得多的缘故。便是光的波长则要比洞孔尺寸小得多，所以光通过洞孔时是一束光线。当然如果声波的频率很高，在通过洞孔时也会出现类似于光束的声束，它带有很强的方向性，如图 1.1.1 所示。

声波在传播路径上遇到线度比其波长甚的障碍物时就会产生散射。在有障碍物的声场中，散射的强弱与障碍物的线度对波长的比值有关。障碍物越大，或波长越短，则散射越强。散射与衍射在本质上是一回事，衍射是指一束声波会绕到物体背面的现象，而散射是指波束方向会在物体表面散乱。散射对于保证声场的均匀有重要的作用。

5、声波干涉

两个频率相同、振动方向相同且步调一致的声源发出的声波相互迭加时就会出现干涉现象。如果它们的相位相同，两声波迭加后其声压加强，反之，如果它们的相位相反，两声波迭加后便会相互减弱，甚至完全抵消。由于声波的干涉作用，常使空间的声场出现固定的分布，形成波腹和波节，即出现我们通常所说的驻波。

造成声波干涉的条件是经常可以遇到的，我们不妨以两只扬声器播放同频率声音的情况为例来说明：

(1) 当两只扬声器在同相位状态下振动发声时，由于等距关系，声波到达两扬声器之间中轴线上的各点时总是处在同相位状态，于是来自两只扬声器的声波在该处相互加强。

(2) 当两只扬声器在反相位状态下振动发声时，情况正好相反，声波到达两扬声器之间中轴线上的各点时总是处在反相位状态，于是来自两只扬声器的声波在该处相互抵消，导致两只扬声器还不如一只扬声器响的奇怪现象。

这就告诉我们，连接音箱和功放时一定要保持它们正负极性的一致，否则就会出现上面的第二种情况。当然，对于立体声系统而言这样的结果往往还会导致声像定位不准，即声源“飘忽”的感觉。

在厅堂内由于墙壁反射也会出现声波的干涉现象，例如，从声源发出的直射波和来自墙壁或平顶的反射波在空间各点要相互干涉。如果它们是语音信号，这种干涉现象必然会引起空间各点声场的很大差异，有些地方声波会加强，有些地方声波会减弱，甚至完全抵消而成“死点”。好在语言和音乐是由许多频率

组成的复合声，可以有“此起彼伏”，“填平补齐”的效果，使干涉效应不太明显。但是，由于不同频率信号所产生的干涉效果不同，即某些频率的信号是相互加强的，而另一些频率的信号是相互减弱的，所以常常导致房间传输特性的不均匀。

大中型卡拉 OK 尺寸一般比低频声的波长还要大许多，形状也往往不规则，而且厅内又还有许多门窗等形状不规则的物体，这些都会“打乱”和“破坏”引起干涉的条件，因而干涉现象也步不那么严重了。

6、语言和音乐的特性

语言和音乐都是由频率不同、强度不等的许多声音分量组成的，它们在发声过程中不断地变化着。歌声和音乐都包含了许多分音（谐波），分音强度的相对关系确定了音色。而乐音的音调则是由这种复音中频率最低的基音所确定的。此外，描述一个乐音还要有另外一些量，例如颤音、持续时间以及音的建立过程和衰变，它们反映了乐音的瞬态特性。

语言的频率范围比较窄，其基音频率在 130~350 赫范围内，但其分音以及一些非周性谐分量的频率可达 8 千赫。歌声的基频范围较宽，从 80 赫到 11 千赫。在声音中分成五个声部，即男低音、男中音、男高音、女低音和女高音；它们的基频范围分别为 82~294 赫 ($E_2 \sim D_4$)、110~392 赫 ($A_2 \sim G_4$)、147~523 赫 ($D_3 \sim C_5$)、196~698 赫 ($G_3 \sim F_5$) 和 262~1047 赫 ($C_4 \sim C_6$)。在乐器中管风琴具有最宽的基音范围，约从 16 赫延伸到 9 千赫。其次是钢琴，它的基音范围为 27.5~4136 赫。有些乐器，特别是打击乐器能产生更高频率的声音，其余大部分乐器则在 16~4 千赫范围内，但是在低频端下限实际为 30 赫，更低的器乐声是很少遇到的。民族乐器的基音范围大约在 100~2 千赫之间。因为所有的乐器都要产生高次谐波，所以音乐中有用的频率范围大约可以扩展到 15 千~20 千赫。此外还应注意，对于音乐而言几乎所有的频率范围都同样重要，重放音乐时不能抑制或忽略某些频率范围。对于音乐重放，一般认为与音质有关的频率范围是 50~10 千赫，而重要的是 100~5 千赫。

由于语言和音乐的大小都是随时变化的，为了描述语言和音乐的瞬时变化范围，我们引入了动态范围这一概念。所谓动态范围就是指声源发声的最强值与最弱值之间的幅度差。它是声源的重要特色之一。语言和音乐的动态范围如表 1.1.2 所示。

第三章 听觉的基本特性

所谓听觉就是人们对声音的主观反应。我们知道，任何复杂的声音都可以用声音的三个物理量来描述：幅度（声强或声压）、频率和相位。但对于人耳的感觉来说，声音是用另外三个量来描述的，即响度、音调和音色，这就是我们通常所说的“声音三要素”。此外，人耳还能分辨出声音的方向和到达人耳的距离等。

一、响度

声音的响度与声波的振幅（声压）有关，对于同一频率的信号而言，声压越大，响度也越大。但是人耳对不同频率的声音的响度感觉（灵敏度）是不一样的，也就是说，对于频率不同而声压相同的声音，会感觉到不同的响度。在 3~4 千赫频率范围内的声音容易被感觉（灵敏度较高），而较低或较高频率范围内的声音就不容易被感觉。描述等响度条件下声压级与频率的关系曲线称为等响度曲线。

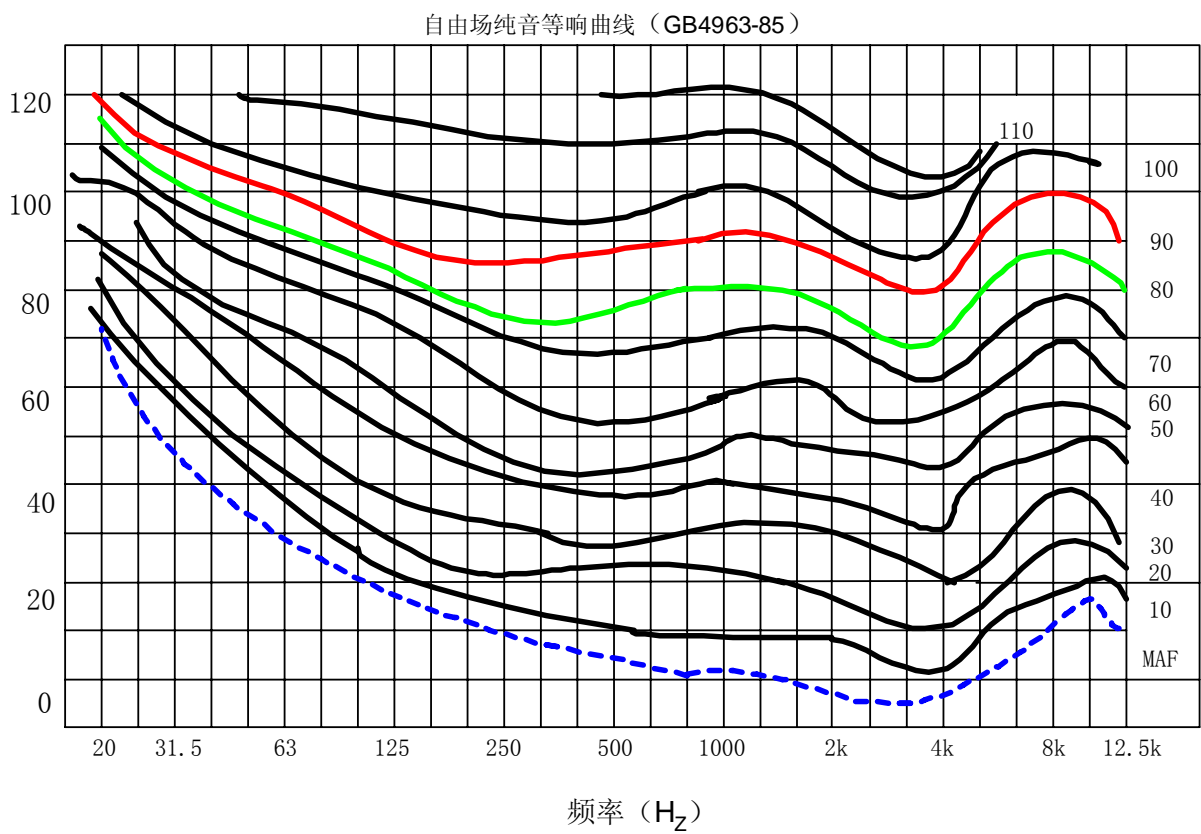


图 正常人耳的等响曲线

图中横坐标表示不同频率的纯音信号，单位是赫兹（赫）；纵坐标表示相应声波的振幅大小（声压级），单位是分贝（dB）；图中的曲线就是等响度曲线，单位是方响（PHONO）。在同一条等响度曲线上的不同频率、不同声压级的纯音信号，给人的响度感觉是一样的。例如：50 分贝/100 赫的纯音和 40 分贝/1 千赫的纯音等响，因为两者位于同一条等响曲线上，也就是说要想让 100 赫的低音和 40 分贝/1 千赫的中音听起来一样响，就必须让 100 赫的信号比 1 千赫大 10 分贝。从图中我们可以得出以下几点简单的结论：

1、人耳对不同频率声音的灵敏度是不一样的。具体来讲，对于 3 ~ 4 千赫声音的灵敏度较高，随着频率向 3 ~ 4 千赫两端升高和降低，总的趋势是灵敏度降低。

2、人耳对不同频率声音的灵敏度还与声压的大小有关，随着声压的降低，人耳对低频和高频的灵敏度都要降低，特别是对低频声更为明显。这就是为什么当我们将音量开得较小（即在低声压级情况下）时，即使节目中已有较多低音成份，但听起来仍感到低音不足，一旦把音量开大（声压级大致在 80 分贝以上），就会感到低音比较丰富的道理。

由等响曲线可知，若声音以低于原始声（录音时）的声压级重放，由需要通过均衡器来提升低音和高音以保证原有的音色平衡。例如一个乐队演奏，假如低频声和高频声都以 100 分贝左右录音，因为这时的等响度曲线差不多是平直的，所以低音和高音听起来有差不多的响度。如果重放时的声压级较低，例如 50 分贝，这时 50 赫的声音刚刚能听到，而 1 千赫的声音听起来却有 50 方响，其它不同频率的声音都有不同的响度级，因此听起来就感觉到低频声和高频声都损失了，也就是原来的音色已经改变了。这时要想让 50 赫的声音听起来与 1 千赫的声音有大致相同的响度，必须将其提升 20 分贝左右。由此可见，等响度曲线是我们使用均衡器的重要依据之一。

二、音调

音调又称音高，是人耳对声音调子高低的主观评价尺度。音调的高低主要决定于频率，频率越高，音调越高，频率越低，音调越低。但是音调和振幅的大小也有一定的关系。

人耳对音调变化的感受不是线性关系，而是对数关系。也就是说，音调感觉是由于频率的相对变化而形成的，即不论原来频率是多少，相同倍数的频率变化对人耳总是产生相同音调变化的感觉。例如把频率增加一倍，比如从 100 赫变为 200 赫或从 1 千赫变为 2 千赫，音调变化在听觉感受上都是一样的，即提高了所谓的“八度音”，又称为“倍频程”。正是因为音调变化和频率相对变化的对数（或倍数）成正比，所以在表示频率的曲线图中，频率坐标常采用对数尺度，图形均衡器中的中心常按“1/2 倍频程”或“1/3 频程”设定的原因也是如此。

乐器每发出一个音，这个音除具有基频 f_0 外，还有与 f_0 成整数倍关系的谐波。每个音的音调感觉由

f_0 决定，而各次谐波则决定乐音的音色。有时 f_0 的振幅甚至比头几次谐波（如 f_1 、 f_2 、 f_3 ...）的振幅还小些，但 f_0 决定音调的作用丝毫没有减弱。

人耳对音调的感觉也受振幅的影响。当振幅较大时，耳膜受到较大的刺激而有变形，从而影响到神经对音调的感受。一般来说，响度增加时，人耳感到音调有所降低，频率愈低，感到降低愈多。

三、音色

人耳除对响度和音调有明显的辨别能力外，还能准确判断声音的音色。不同乐器的频率构成大不相同，比如，小提琴和钢琴即使演奏同样高音的音符，人们还是能迅速分辨出哪个是钢琴的声音，哪个是小提琴的声音，而不至于相互混淆。这是因为它们在演奏同一音符时基音虽然相同，但它们的谐波成分（泛音）不论是在数量上、频率上还是强度上都是非常不同的缘故。正是由于这些谐波的不同组成，才赋予每种乐器特有的音色。音色主要和声音的频率结构有关。事实上，乐器的振动绝大多数都不是简单的简谐振动，而是由许多个不同的简振动叠加而成的，并且这些简谐振动的振动频率之间满足整倍数关系。其中，最低的一个频率称为基频，基频对就应的简谐波称为基波，频率是基频整数倍的简谐波称为谐波，在音乐词汇中被称为泛音。正是由于谐波的不同组成比例，才赋予各种乐器、人声以特有的音色。如果没有谐波成分，单纯的基音简谐信号是没有音乐感的。

在传声过程中，为了使声音逼真，必须尽量保持原来的音色。如果声音中某些频率成份被放大或缩小，就会引起音色的变化。有时为了某种特殊的需要，利用均衡器对音色作适当的调整也是可以的。由此可见均衡器能对音色作一些必要的修饰和调整。这是均衡器使用的又一重要依据。

四、哈斯效应

哈斯在实验中发现，如果两个不同的声源发出同样的声音，在同一时间以同样的强度到达听众时，则主观感觉是声音来自两个声源之间；如果其中一个略有延时（约 5 ~ 35 毫秒），听起来两个声音都来自未延时声源，延时声源的存在对方向定位没有影响，只是增加了响度；如果延时在 35 ~ 50 毫秒之间，则延时声源的存在可以被识别出来，但其方向仍在未延时的声源方向；只有延时超过 50 毫秒时，第二个声源才象一个清晰的回声一样被听到。由此可见，如果在 50 毫秒（1/210 秒）以内出现两个相同的声音，一般是不能区分出来的，仅能觉察到音色和响度的变化，如果让第二个声音延迟 50 毫秒以后再出现，而且有足够的响度，我们就可以把它们区分出来。这种效应应用于室内扩音系统，可以在分布式扬声器系统的声场中，保证听众视觉和听觉的一致性。

在厅堂内如果反射声和直达声的声程差大于 17 米，而房间吸声效果又不好，就会产生回声，从而破坏语言的自然度和可懂度。另外，在较大的厅堂内，为了保证声场的均匀度，往往在后场设有辅助音箱，

这时对于后排就坐的听众而言，如果台口主音箱到他的距离比后场辅助音箱到他的距离大 12 米（相当于来自台口主音箱的声音比来自后场辅助音箱的声音延迟 35 毫秒），他就会感到声音来自后场，此时，为了保证听众视觉与听觉的一致就必须给后场辅助音箱加装延时器。还需要说明一点，就是我们上面始终是假设两个声源的音量相同，实际上，如果延时不超过 20 ~ 30 毫秒，则可通过衰减领先声道的音量（或增加滞后声道的音量），来改变声像的位置。

五、方向感

听音时，人们都能够用耳朵判断出声音方向，确定声源所在的位置。这是因为我们有两只耳朵（所谓“双耳效应”），双耳间距大约是 20 厘米，来自同一声源的声音到达两耳时，在时间、强度和相位等方面都存在着差异，正是从这种差异里，我们完成了“声像”的定位。

人耳长在头部两侧，对于左右水平方向的方位分辨能力要比上下竖直方向的分辨能力强得多，通常可以分辨出水平方向 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 的变动，但在竖直方向，有时要大于 60° 才能分辨出来。

听觉上具有方向感这一特性，使我们在一片嘈杂的环境下有可能“全神贯注”地听出来自某一个方向的一个比较特殊的声音来，如果我们把一耳塞住，用单耳收听，上述方向感就会消失，这时听音受环境干扰严重，声音含混不清。利用听觉的方向感这一特性，要求我们在厅堂内布置扬声器时，要尽可能地保证“视”、“听”的方向一致，就是说要使耳朵听到的声源和眼睛看到的声源来自同一个方向。这就要求我们尽量采用“集中式”扩声系统——将音箱集中在舞台两侧，并使音箱在水平方向尽量靠近声源，至于它在垂直方向位置的高低，往往影响较小。

这里顺便提一下，什么是立体声？所谓立体声是指人们能听出声源在空间分布的一种还音方式。立体声就是根据人的双耳效应而发展起来，现在最简单而实用的立体声就是双声道立体声，它利用两只音箱重放声音，人们可以通过两只音箱的声音到达人耳的相对强度、时间差和相位差而听出声源在两只音箱之间的分布。因此我们只要调节两只音箱中声音的相对强度、延时时间和相位就能改变声像的定位。如果要想重放出声源在整个平面上的分布就必须使用环绕立体声，要实现环绕立体声通常需要四个声道，杜比立体声就是这种立体声的一个最好代表。现在我们用的环绕声处理器能将普通的双声道立体场转化为四声道的环绕立体声，其实这只是一种模拟，是一种伪环绕声，它并不能真正重现出声源的真实位置。必须强调的是：不要以为简单地多装几只扬声器就是立体声，尽管这样做有可能使声音听起来更加丰满圆润，其实之只是一种类似的混响效果。

此外，人耳还能根据音质的差别，分辨出声源的距离，即人耳不仅有“定向”能力还有“定位”能力。

六、多普勒效应

当声源与听者彼此相对运动时，会感到某一频率确定的声音的音调发生变化。例如火车开过来时听到

的汽笛声是频率稍高音调，反之火车离开时就听到频率稍低的音调。这种现象称之为多普勒（Doppler）效应。

当声源以一定的速度运动而听者静止时，声强（声压）也有类似的变化，移近的声源在同样距离上要比它不移动时产生的强度。移开的声源产生的强度要小些。

七、噪声对清晰度的影响

卡拉 OK 厅中遇到的噪声主要有电噪声和环境噪声两种类型。其中电噪声又可以分为热噪声、交流噪声、感应噪声和记录媒体的本底噪声，但是近年来，随着电子技术的迅速发展，新的数字记录方式的出现和大量进口性能优良的设备，电噪声中的热噪声和记录媒体的本底噪声已经变得不太明显，所以电噪声主要是由于接线中的屏蔽或接地不良引起的交流噪声和感应噪声，这些可以通过改进接线工艺或使用噪声门进行抑制。所以在这里我们着重讨论环境噪声对清晰度的影响。

噪声的存在会使人们对目标声音的听力下降，即产生所谓的“掩蔽现象”，它不仅取决于噪声的声压大小，而且与它的频率成份和频谱分布密切相关。简单地说，主要有以下几个特点：

- 1、 低频声，特别是在响度相当大时，会对高频声产生较明显的掩蔽作用。
- 2、 高频声对低频声只产生很小的掩蔽作用。
- 3、 掩蔽声与被掩蔽声的频率越接近，掩蔽作用越大，当它们的频率相同时，一个声对另一个声的掩蔽作用达到最大。

由此可见，低频噪声（例如通风机噪声）和人声是构成干扰的主要声源。一般来讲，卡拉 OK 厅要求环境噪声级低于 30 ~ 35 分贝，这是保证清晰度的一个重要要求。

第四章 房间的声学特性

声源在室内发声时，声音的传播受到封闭界面的限制，由于各表面的反复反射，出现了复杂的干涉现象，使得室内声场完全不同于室外的情况。声场的干涉现象对室内的听音条件影响很大，归纳起来，房间对室内声场的影响主要有：

- 1、引起反射声。
- 2、改变语言和音乐的瞬态特性。
- 3、增加了声能密度。
- 4、改变了声能在空间的分布。
- 5、由于吸收和共振引起频响的不均匀。

二、室内的声学过程

当声音在空间某一点产生时，就会在它的周围引起一系列声波，它们以声源为中心，呈球形层层向外自由传播，当它们碰到墙面、地板等障碍物时，一部分声能被吸收，另一部分声能被反射，反射的声波又以新的传播方向继续传播，直到下次再碰到障碍物时，又产生新的吸收和反射。如图 所示。声波在室内的多次反射和不断衰减是一个非常复杂的声学过程，这一过程对房间的音质有重大的影响。

因此，我们在室内讲话时，听者总是先听到来自声源的直达声，然后又听到来自墙壁等处的反射声。也就是说，室内声场可以看作是直达声和各种反射声的叠加。总之，室内总声压级与单纯取决于离声源距离关系的自由声场不同。在靠近声源处，总声压级以直达声为主，混响声（即反射声的总和）可以忽略，此时声压的大小与距离的倒数成正比，即距离每增加一倍声压级要下降 6 分贝。在远离声源处，总声压级则以混响为主，而直达声可以忽略，此时总声压级与距离声源的距离无关，即随着距离的增加声压并不减小。

三、室内混响

从上节的室内声学过程可知，声波在室内各个方向来回反射，而又逐渐衰减，这一现象通常被称为室内混响。衡量室内混响最有效的参数是混响时间。从声源停止发声的时刻算起，声压级降低 60 分贝所需的时间，就称为混响时间，常用符号 T_{60} 来表示，单位是秒。这里要强调一下，通常所说的混响时间并不是指我们在室内实际能听到的声音延续时间。

假如没有墙壁和空气的吸收，在室内激发声波后，声音就会一直延续下去，直到永远。声音之所以不能在室内长时间延续下去，就是因为各种反射面和空气都能吸收声波。研究表明，各种反射面对声波的吸收要比空气的吸收强烈得多，即室内声吸收主要发生在各种反射面上。在大房间中，声音每两次反射之间

所经过的平均路程较大，经过相同次数反射所用时间要比小房间多，于是延续时间也较长，混响时间自然也就长一些；另外，如果房间各壁面的吸声系数大，每次反射时声音会降低（吸收或衰减）得多一些，所以声音延续的时间也就短一些。

实验表明，房间混响时间的长短可以用下面的简化公式来估算：

$$T_{60} = 0.161V / \bar{\alpha}S + 4MV$$

式中： T_{60} 表示房间的混响时间，单位是秒（S）。

V 是房间容积，单位是立方米（ M^3 ）。

S 是房间的内部总表面积，单位是平方米（ M^2 ）。

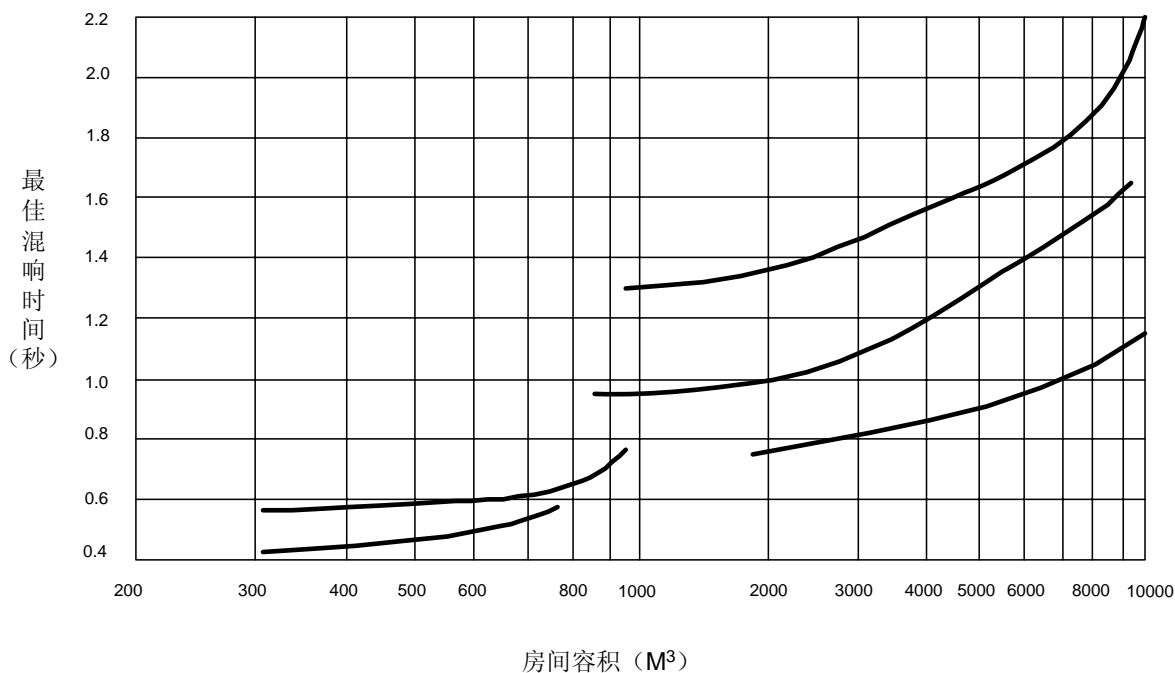
$\bar{\alpha}$ 是室内平均吸声系数。

M 是声能衰减常数，对 1 千赫声音室内常温下约为 $0.0015m^{-1}$ 。

从公式中可以看出：混响时间与房间的大小成正比，和室内总吸声量成反比，即房间越大，混响时间越长，室内吸声量越大，混响时间越短。例如，在不加任何吸声处理和情况下，一间 100 立方米的普通住房，混响时间约为 0.7 秒；而一个容积达 3 万立方米的厅堂，混响能达几秒。

表 列出了几种常用的吸声材料的吸声系数，以供参考。

前面说过，混响作用对室内音质有较然的影响。一般说来，如果混响效果太弱，声音就会变得沉闷枯燥；如果混响效果太强，则会使声音变得含糊不清；只有合适的混响效果才能保证声音丰满而清晰。事实上，最佳的混响时间不仅与房间的大小有关，而且还与房间的用途有关。通常小房间的的最佳混响时间在 1 秒左右，而大厅的最佳混响时间可以达到 2~3 秒。图 给出了各种不同用途厅堂的中频最佳混响时间（其中曲线 1~5 分别对应于管弦乐、音乐（平均值）、轻音乐、语言（平均值）和电影，以供参考。

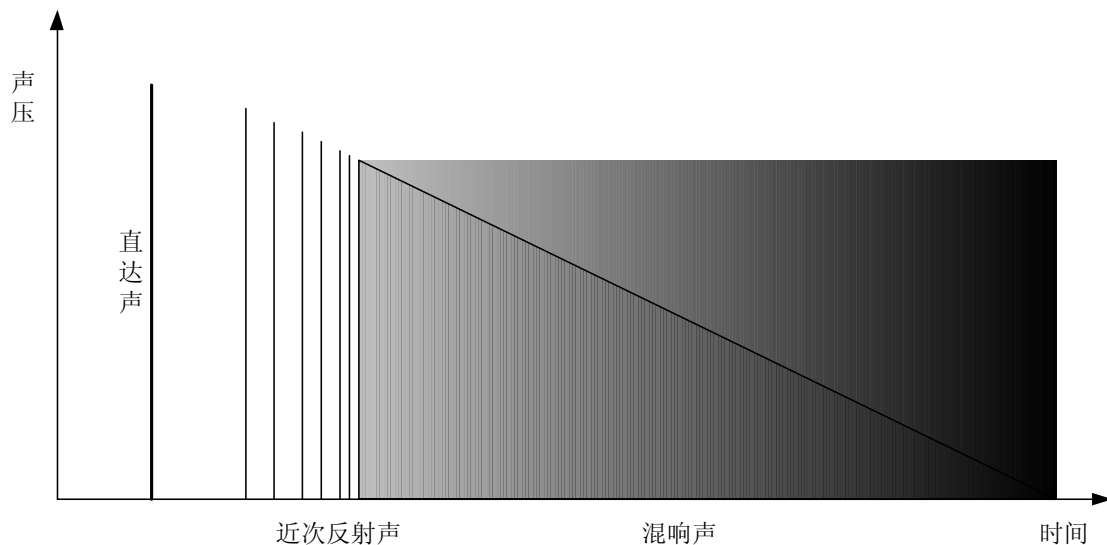


还有一点需要说明一下，就是高频声在空气中的衰减速度要比低频声快得多，所以混响声中高频成份会随着时间的延长而急剧减小。因此，高频声的混响要比低频声的混响短得多。

近年来，人工混响技术有了很大的进展，特别是数字混响器的出现，使人们可以根据不同的节目内容选择佳的混响时间和最佳的混响效果，即使在小型卡拉 OK 厅中也能重放出类似于音乐厅、教堂或山谷等地的音响效果，而且操作十分简单。

四、早期反射声

在室内，听众总首先接收到从讲话者（声源）直接传来的声音，即先听到所谓的直达声。从这一点上来讲，室内和室外的情况基本是一样的，但是在室内听众还将陆续接收到从墙壁、天花板、地面等处反射回来的声音（反射声）。其中来的比较早的，也就是反射次数较少的一部分声音反射声（通常是在直达声到达后 50 米/秒之内到达的反射声），我们称之为早期反射声或前期反射声。这一部分反射声人耳不但不能把它们同直达声区分开来，而且还把它们当作是直达声的一部分，即在听觉上增加了直达声的响度，展宽了直达声的声像，同时还提高了直达声的清晰度。在这以后到来的许许多多的反射声（细密的反射声），在听觉造成一种“余音不绝”的感觉，这就是我们在上一节中介绍的混响声，它们对直达声的响度没有贡献，只能增加它的丰满度。图 给出了在一个房间发出一个脉冲声后反射声的总体情况，从图中可以看出，我们首先听到的是直达声，其次是早期反射声，再其次是越来越密的混响声。



早期反射声和混响声一样，对语言的清晰度有着重大的影响，所不同的是它可以提高清晰度，而混响声则是降低清晰度。实践证明，直达声（包括早期反射声）和混响声的比值对清晰度的影响非常重要，也就是辩，在同样的条件下，如果加强直达声（包括早期反射声）提高它和混响声的比值可以改进清晰度；反之，清晰度就要下降。这个比值被称之为“声能比”，即：

$$\text{声能比} = (\text{直达声能} + \text{早期反射声能}) / \text{混响声能}$$

上节讲过，适度的混响声使人感觉到热情而丰满，而适度的早期反射声，则使声音听起来亲切而又清晰。

除此之外，早期反射声还有一个重要的作用，那就是它还能暗示听众房间有多大，而混响声则没有这种功能。

最后还应指出，如果到达听众的直达声与第一次反射声之间，或者相继到达的两个反射声之间，在时间上相差 50 米/秒以上，而且反射声的强度又足够大，使听众能明显分辨出是两个声音的存在，那么这种延迟的反射声就称为回声（ECHO）。回声是声反射中的一个特殊现象，它对语言的清晰度带来严重的干扰，在卡拉 OK 厅的设计中必须设法消除。有时在一些卡拉 OK 机上也把混响效果称为“ECHO”，其实这只是一种特殊的混响效果，即延时加混响，它特别适合于卡拉 OK 的演唱，与我们通常所说的回声现象并不是一回事，千万不要混淆。

在通常情况下，回声的出现与下列条件有关：

- 1、小房间内不容易出现回声，因为反射声和直达声之间的时差不会大到足以引起回声。
- 2、混响时间长的房间内不容易出现回声，因为强的混响声把“湮没”了。
- 3、体积大且混响时间短的房间容易产生回声。

4、在离声源（讲话或扬声器）近的位置上要比远的位置上容易出现回声。

五、房间的简正方式

在室内，声波可以在任何两个墙面之间传播，也可以围绕房间传播。如果角度选择恰当，经过多次反射后可以形成驻波，每一个驻波就是房间的一个简正振动方式，简正振动方式的频率称为简正频率。因此当房间中声源的激发频率与房间中某一固定频率（简正频率）一致时就产生共振，所以简正频率分布密集且均匀就表示房间的传输频率特性均匀，否则就表示频率特性不均匀。

房间的简正频率主要决定于房间的几何尺寸，例如，对于边长为 L ， W ， H 的刚性墙矩形房间，第 N 个简正振动的频率为：

式中， F_N 表示第 N 个简正振动方式的简正频率，单位 H_z （赫）； C 表示声速单位米（M） M/S ； N_x ， N_y ， N_z 中可以分别选择的正整数； L_x ， L_y ， L_z 是房间的三个边长。

从上式可以看出，如果房间的长宽高中有两边相等，则房间内的很多简正振动方式就会成对的具有相同的简正频率（即出现所谓的“简并化”，也就是说，不同的简正波具有相同的简正频率）。由于简并化，结果是很可能在某一频率范围内却没有简正频率；而在另一频率范围内却有较多的简正频率，造成简正频率分布不均匀，从而导致房间频率特性的不均匀。由此可见，为了保证简正频率分布最均匀，房间的长宽高比例必须满足一定的条件，例如：取三边长度之比为：

$$H : W : L =$$

即比例应为一无理数。一般选用 $2 : 3 : 5$ ，当然其它的比例也是可以的，例如 $1 : 1.25 : 1.6$ 或 $1 : 1.6 : 2.5$ 等。但跟上述比例相关较大时，就必须防止可能产生的音质缺陷，即引起“声染色”。所谓的声染色是指信号的频率与房间自身的谐振频率相等时，由于共振而大幅度的增强起来，从而偏离了原来的音色。除了合理设计房间的长度比外，安装各种凸面的扩散体，也能避免因反射而形成的驻波。

五、传输响应

房间可以看作是有一定频率特性的传声通路。声音在房间内传播时，一方面由于共振使得其中的某些频率（等于房间的简正频率）的声音得到放大；另一方面由于室内各种不同的吸声体对不同频率的声音有不同的吸声量（比如木栅地板易吸收低频声，而布帷幕则易吸收高频声），所以声音在室内传输时频响并不均匀，如图 所示。为了保证声音在室内传输的均匀性，我们经常需要用房间均衡器对其校正。

六、与房间形状有关的特殊声学现象

回声 在室内由各墙壁反射而使到达听者的反射声波所经过的路程大于直达声，如果反射声与直达声的路程差大于 17 米，即相当于延迟 50 毫秒，滞后的反射声就可能形成回声，回声的主观感受决定于时间差和强度差，减小路程差或衰减反射声就可以减弱回声的感觉。

声聚集 如果室内存在凹面，则由于凹面聚集将使声能集中到焦点上，从而使室内声场分布不均匀。因此，在卡拉 OK 厅中要尽量避免大面积的凹面。

回音壁 也是与凹面反射密切相关的一种声学现象，是指声音沿着一个大的凹面爬行，尤以高频声为甚。北京天坛的回音壁就有这种声学现象的典型代表。向着这种凹面低语，在远处仍然可以听得清楚。

死点 由于凹面聚集的影响，房间声能集中在焦点附近，而室内其它各处反射声严重不足。声能不足的区域有时被称为死点。另一类死点是由于声波干涉引起的，但这种干涉现象一般对房间的音质危害不大。

颤动回声 一般发生在室内一对平行（相对）壁面之间。一个单独的脉冲声，将在相对墙壁间来回反射，产生多次脉冲回声。如果这些壁面之间的距离很大，那么颤动是很慢的。例如：拍一下掌，除了清脆的拍掌声外，还可以听到一连串逐渐减小的“扑、扑”声，直到逐渐消逝。