

怎样获得立体声最佳效果

李春林 李金钢 编著
佟志广 吴广心

北 京 出 版 社

怎样获得立体声最佳效果
Zen yang huode Li ti sheng
Zuijiaxiaoguo

李春林 李金刚 编著
佟志广 吴广心

*

北 京 出 版 社 出 版
(北京崇文门外东兴隆街51号)
新华书店北京发行所发行
北京第二新华印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 32 开本 6 印张 127,000 字
1986 年 11 月第 1 版 1986 年 11 月第 1 次印刷
印数 1—10,500
书号: 15071·74 定价: 1.05 元

目 录

一、声音的基本知识.....	(1)
1. 振动发声	(1)
2. 听觉	(4)
3. 振动与声波	(5)
4. 声音的特性参数	(9)
二、声波的传播特性.....	(24)
1. 声波的传播衰减	(24)
2. 声波的反射、折射和衍射	(26)
3. 声波的干涉现象	(30)
三、室内音质.....	(33)
1. 室内的声反射与声吸收	(33)
2. 回声与混响	(36)
3. 声屏蔽与声扩散	(40)
四、立体声与立体声系统.....	(42)
1. 厅堂音响的声学知识	(42)
2. 双耳效应	(44)
3. 立体声系统	(48)
4. 立体声听音系统	(54)
五、声频放大器.....	(62)
1. 声频放大器的组成和作用	(62)
2. 声频放大器的技术性能指标	(65)
六、音响控制技术.....	(77)

1. 等响度控制·····	(77)
2. 音调控制·····	(81)
3. 模拟立体声技术·····	(89)
4. 人工混响技术·····	(97)
5. 家庭立体声听音系统的布局和调整·····	(104)
七、扬声器 ·····	(114)
1. 扬声器的种类·····	(114)
2. 扬声器的主要特性参数·····	(118)
八、分频网络 ·····	(126)
1. 无源分频网络·····	(127)
2. 有源分频网络·····	(134)
九、音箱 ·····	(142)
1. 音箱的作用·····	(142)
2. 音箱的主要类型·····	(143)
3. 音箱的设计·····	(167)
4. 音箱箱体制作中需注意的问题·····	(178)

一、声音的基本知识

声音的定义可以分两方面来讲：1）从物理方面来说，声音是由物体的振动而产生的；2）从生理方面来说，是由物体振动后，经弹性媒质传入人耳而产生的声的感觉。人们日常所听到的声音，可以分成两大类：一类是乐音，一类是噪声。有规律、和谐而不单调的乐音（如音乐），能给人们以美的享受；而无规律的嘈杂的噪声，则使人感到心神不安和厌倦。乐音和噪声都是以声音的形式对人类发生作用的，但不同的声音会使人们有截然不同的感觉。而对于需要安定寂静环境的人来说，即使是乐音，有时也会感到烦躁、厌恶。在音响技术中，主要的是研究声音中的乐音。

1. 振动发声

简单地说，物体的振动是产生声音的根源。所谓振动，是指物体沿直线或曲线、经过其平衡位置所作的往复运动。由于振动而发声的物体，就叫做声源。例如，鼓锤敲击鼓面时，就会使鼓面上下起伏振动，同时发出“咚……”的响声。这时，被敲击的鼓就是声源。同样，如果拨动小提琴、胡琴等弦乐器的琴弦，使之振动，它们也会成为声源，发出动听的声音。在自然界中，几乎所有的物质以及同一物质的不同形态，都会因振动而发声。所以，声源可以是固体、液体和气体。为了说明振动产生声音的规律，下面以弹簧振子的实验为例，来加以叙述。

如果将一根弹簧和一个小球穿在水平的铁丝上，弹簧的一端固定，另一端与小球连接，它们可以在铁丝上灵活移动，如图 1—1 所示。当通过小球拉伸弹簧，然后再放开小

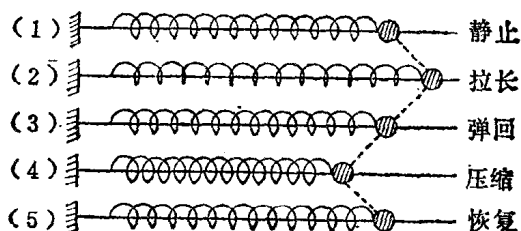


图 1—1 弹簧振子的振动

球时，由于弹簧自身的收缩力，就会使小球向着原来静止的位置弹回，其速度是逐渐增加的。当达到原静止位置时，速度最大，弹簧对小球的作用力消失。但由于惯性的作用，小球还会继续向前运动，弹簧被压缩，这时小球的速度减小，最后减为零。随后，被压缩的弹簧又推动小球再向原静止（平衡）位置运动，并且由于惯性的作用（在不考虑任何阻力的情况下），小球还会回到原来的出发位置。如此继续下去，小球就会在铁丝上作周期性的往复运动，这就是振动现象。在振动过程中，小球离开原静止位置的最大距离叫做振幅；往复一周的时间叫做振动周期，通常用 T 来表示；每秒钟振动的周期数叫做频率，用 f 表示，它的单位是赫兹（Hz）。显然，周期 T 与频率 f 间的关系是：

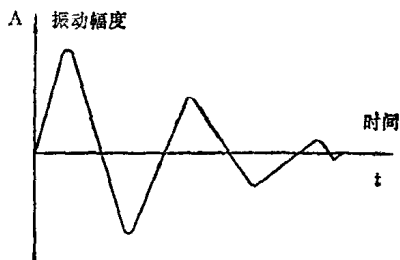
$$T = \frac{1}{f}$$

物质系统在不受外界作用，或者其阻尼可以忽略的情况

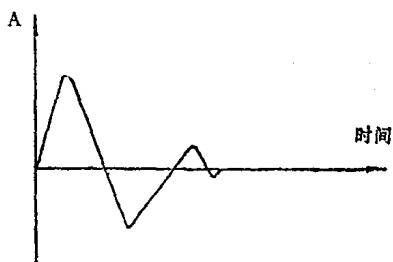
下所进行的振动，称为固有振动，亦称自由振动和本征振动。如敲击鼓面的鼓膜振动以及拨动琴弦的振动等，都是固有振动。固有振动频率与振动系统本身的几何形状、材料质地等物理因素有关。如改变鼓膜、琴弦以及弹簧振子中小球的质量，或调换强度不同的弹簧等，都能改变振动物体的固有频率。

如果排除上述弹簧振子中小球和弹簧上的一切机械摩擦损耗，小球则会长时间地连续振动，这就叫做无阻尼振动。无阻尼振动只是理想情况，而实际上摩擦力和损耗总是存在的。因此，如果不及时为振动系统补充能量，振动就会因衰减而趋于静止。这种由于客观存在的各种阻力而产生的振幅逐渐衰减的振动，称之为阻尼振动，如图 1—2 所示。从图中所示的阻尼振动曲线可知，阻尼越强，随时间增长的变化就越快。因此，为了维持球的振动，就必须及时地为系统补充能量。

如果周期性地给小球施加一种外力，使小球受这一外力的作用而维持连续不停地振动，这就称之为受迫振动或强迫振动。受迫振动的频率是受外力控制的。当外力与振动系统的固有振动频率一致时，振动的振幅达到最大值，这种现象



(a) 阻尼弱



(b) 阻尼强

图 1—2 阻尼振动波形

就称为共振，在声学中亦称为共鸣。发生共振时的频率称为共振频率。当外力的频率等于或接近振动体固有频率的整数倍时，振幅也会增大，这种现象亦称为共振。

共振现象可以用图 1—3 所示的实验来证明。即在一根被拉紧的

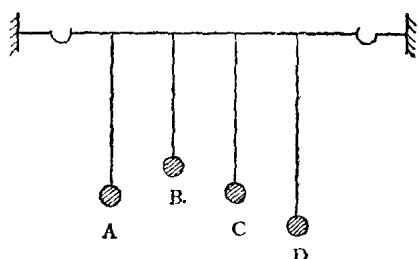


图 1—3 共振现象实验

水平线上悬挂 A、B、C、D 四个质量相同的小球，其中 A 与 C 的悬索长度相等，B 的短一些，D 的最长。当使 A 摆动时，由于长度以及几何形状和质地相同，所以 C 的摆动也会很大，而 B 和 D 只作很小的摆动。这一实验就说明了 A 与 C 发生了共振现象。

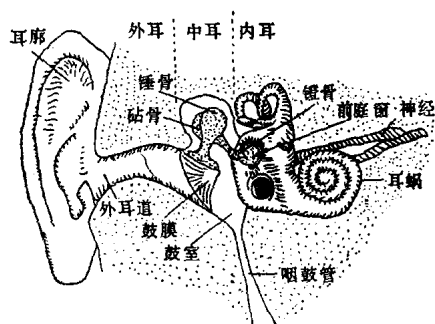


图 1—4 人耳构造剖面图

2. 听觉

人们能够感觉和分辨各种声音，主要是依靠耳朵和大脑，以及分布在它们之中的听觉神经。耳部的基本构造如图 1—4 所示。从图中

看出，人耳可以分成三个部分：1) 从耳廓经耳道到鼓膜为外耳；2) 从鼓膜经锤骨、砧骨、镫骨到耳蜗为中耳；3) 耳蜗以后为内耳。当声音传入耳朵时，首先经过耳廓和耳道使鼓膜产生振动，然后传到与鼓膜相连的锤骨，再由锤骨传入听觉神经集中的耳蜗，将声振动转换为相应频率和振幅特

性的脉冲形式传入大脑，形成听觉。

鼓膜是一圆锥膜，它与锤骨相连，锤骨与砧骨和镫骨相连，并组成一个杠杆机构。在通常情况下，这一杠杆机构能放大振动幅度；而在遇到强声音刺激时，通过肌肉的作用又能减小对声音的放大量，起到自动调节响度的作用。所以，人耳对声音大小的感觉与声压值不是线性关系，而是近似数学中的对数关系。

3. 振动与声波

声音是以波的形式从声源传到人耳的。声波是在弹性媒质中传播的一种机械波，它的形成过程如图1—5所示。

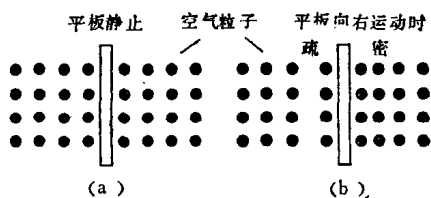


图1—5 声波的形成

图中 a、b 分别表示一块平板处于不同状态时，其周围空气粒子的变化情形。其中，a 表示平板在静止时其两边的空气粒子为均匀分布；b 则表示当平板向右急剧移动时，平板右边的空气粒子受到压缩，而左边的空气粒子形成疏松的状态。如果平板连续不停地左右振动，就会使平板周围的空气粒子疏密相间地发生变化，并以平板为中心形成声波向四周扩展。通常人们所听到的声音，大部分是由空气传播的。但传播声波的媒质不仅是空气，其他气体或液体、固体等也可以传播声音。传播媒质的不同，其质点的波动方式也不一样。

如果把小石块投入平静的水中，在水面上就会以小石块入水处为圆心，出现一圈比一圈大的同心圆，形成向四周扩展的水波。这种运动着的波叫做行波，亦称前进波。声波

也是从声源出发，通过媒质向周围传播的波，因此它也是行波。行波有纵波和横波之分，如图 1—6 所示。媒质微粒的振动方向与波动的传播方向平行，这种波叫做纵波；媒质质点的振动方向与波动传播方向垂直，则称为横波。例如，水波由近及远传播时，其质点是做上下起伏运动，与波动的方向垂直，因此水波是一种横波。而声波在气体（如空气）和液体（如水）中，则是以纵波的形式传播的。如图 1—5 所示的平板振动，假如这块平板换成富有弹性的薄钢片，且一端固定，另一端施加外力向一边弯曲，然后再突然放开，于是，钢片便会以原来的静止位置为中心而左右振动，使其周围的空气随之在左右方向做疏密变化，形成质点与波动传播方向平行的疏密波，亦即纵波。

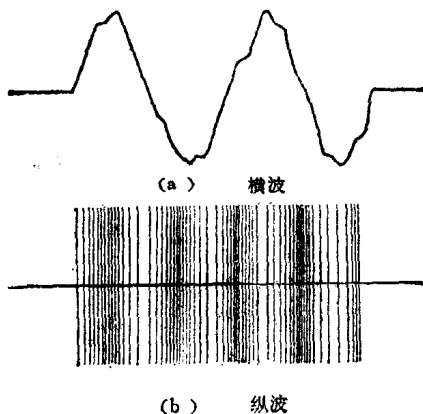


图 1—6 横波与纵波

声波具有三个最基本的参数，即频率、波长和速度。

传播声波的媒质微粒在每秒钟的疏密变化次数，就是声波的频率。由于声源的振动，才使媒质微粒发生疏密变化，所以声波的频率和声源的振动频率完全一致，其数值不因声

波的传播距离而有所变化。然而，能刺激人们听神经而产生声感觉的频率，只限于20~20000Hz之间，只有在这个频率范围以内的声波才能听到，故称这一频段为可听声频段。频率高于20000Hz的声波称为超声波，低于20Hz的声波称为次声波，它们一般都不能使人们引起声感。

声波在媒质中传播时，相邻两疏部或相邻两密部之间的距离，就是声波的波长（ λ ），单位是米（m）。显然，相邻的疏部与密部之间是波长的1/2，如图1—7所示。当同一频率的声波在不同介质中传播时，其波长是不同的；不同频率的声波在同一媒质中传播时的波长也不一样。波长与声波的频率和传播速度有关。

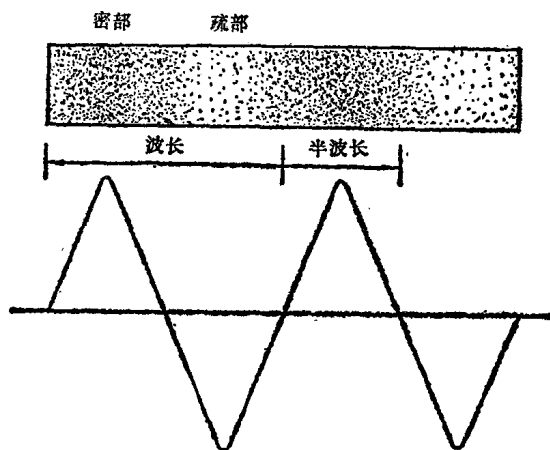


图1—7 声波的波长

声波在媒质中的传播速度简称为声速，它一般定义为媒质密部的前进速度。声速常用符号 c 表示，单位为米/秒（m/s）。在同一性质和状态的媒质中，不同频率的声波速

度都相同，在不同性质和状态的媒质中，同一频率的声波具有不同的声速。声速只与传播的媒质性质和状态有关。所谓同一性质和状态的媒质，其定义是比较严格的。如不同的温度、不同气压的空气、含盐量不同的河水和海水、冶炼方法不同的生铁与熟铁等，都不是同一性质和状态的媒质，它们传播声波的速度都不同。例如，在温度为 0°C 的一个大气压的空气中，其声速是331.36米/秒，温度每升高 1°C ，声速约增加0.6米/秒，即 20°C 时的声速约为343.36米/秒。声波在一般水中的传播速度约为1450米/秒，在钢铁中的传播速度约为5000米/秒。表1—1和1—2分别列出了声波在不同温度干燥空气中的传播速度，以及在常温下的固态和液态物质中的传播速度。

表 1—1

温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	速 度 (米/秒)	温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	速 度 (米/秒)
-30	313	10	338
-20	319	20	344
-10	325	30	349
0	332	100	386

声波的频率、波长及声速三者之间的关系可用下式表示：

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

例如，乐谱中 c 调“1”的频率是256Hz，取其在空气中的声速为340米/秒，通过上式即可求得 c 调“1”在空气媒质中的波长为1.33米。由于声波在水中的传播速度为1450米/

秒，所以，c调“1”在水中的波长为 $\lambda = 1450 \text{米} / 256 \cong 5.7$ 米。

表 1—2

物 质	速 度 (米/秒)	物 质	速 度 (米/秒)
铝	5100	铜	3560
水	1450	铅	1300
榉木	3400	二硫化碳	1160
枞木	4000~5000	酒精	1275
铁、钢	5000	玻璃	5000~6000
金	1743	硬橡胶	1570
橡胶	30~50	乙醚	1030
火油	1330		

在同一性质和状态的媒质中，声波的频率越高，波长就越短。如果波长短于媒质微粒间距离的二分之一，该媒质就不能传播这种声波，如空气不能传播频率约为 10^9Hz 的声波。

4. 声音的特性参数

研究音响技术的最终目的，是为了满足人们的主观感觉——听觉的要求。听觉和人的心理有关。由于人的体质、年龄以及生活、职业等条件不同，对声音这一客观现象的判断也会存在差异，如听觉的频率范围，对不同频率的感受程度，以及对响度的反应等。因此，对声音进行定性分析是很复杂的，而且也很难以进行精确的定量测量。下面仅以与音响技术有关的声学参量予以简单介绍。

(1) 声压与声压级

声波在媒质中传播，要形成媒质的疏密变化。使媒质周期性疏密变化的交变压力，就称之为声压。如图1—8所示，当媒质为大气时，声压可以用大气压表示。图中0点表示标准大气压 1.013×10^5 微巴，纵坐标表示正负气压的变化量。声压的符号常用 P 表示，单位是帕(Pa)，一个标准大气压等于 1.013×10^5 Pa。帕也可以换算为牛顿/米²(N/m²)和达因/厘米²(10^{-1} Pa)。在国际标准中，还保留了微巴声压单位，代表符号是 μbar ， $1\mu bar = 10^{-1} \text{ N/m}^2 = 10^{-1} \text{ Pa}$ 。人类耳朵可以听取最低的声压为 $0.0002\mu bar$ ，最高为 $200\mu bar$ ，超过这个数值就有不适之感。

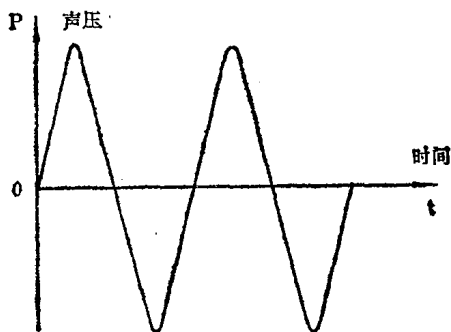


图1—8 声压变化波形

平面波的声压 P 和质点运动速度 V 成正比，它们之间的比例常数是媒质密度 ρ 乘以声波的传播速度 C ，即

$$P = \rho CV$$

上述公式也称为声学的欧姆定律，它和电学的欧姆定律很类似。其中，声压 P 可类比于电压 U ，质点运动速度 V 可类比于电流 I ，而密度 ρ 和声的传播速度 C 的乘积可类比于电阻 R 。因为声压 P 随时都在变化，所以实际测得的声压值是它的有效值，也就是它的峰值的0.707倍。此外， ρC 是由

传播媒质的性质所决定的，所以也称其为声阻率。

声阻率的单位是公斤/米²·秒 (kg/m²·s)，如空气的声阻率为420公斤/米²·秒，水的声阻率为 1.5×10^8 公斤/米²·秒。

声压是计量声音强弱的物理量。然而，人们感觉到声的强弱，并不与声压的大小成比例，而与其对数值成比例，所以，在声学中常用“级”来描述有关的量，如声压级、声强级、声功率级等。声压级的计算公式为：

$$L_p = 20 \lg(P/P_0)$$

式中， L_p 为欲求声压级； P_0 为基准声压值； P 为声压。基准声压值规定为：

$$\text{空气中 } P_0 = 20 \mu\text{Pa}$$

$$\text{水中 } P_0 = 1 \mu\text{Pa}$$

声压级的单位为贝 (B)，但实际使用时常以其 1/10 的分贝 (dB) 为单位。

(2) 声能、声强度与声强级

声能是由于媒质中有声波存在而具有的附加能量。声波在传播过程中，随着媒质微粒的疏密变化，其能量也随之传播。在声学中，把单位时间内通过与指定方向相垂直的单位面积的能量称为声强（或声强度），常用符号 I 表示，单位为瓦特/米² (W/m²)。声强的计算公式类同于计算电功率的公式，即

$$I = P^2 / \rho C$$

也就是说，声强和声压 P 的平方成正比，与声阻率 ρC 成反比。声强也可以写成声压乘以质点运动速度，或质点运动速度的平方乘以声阻率，即

$$I = PV \quad \text{或} \quad I = \rho C V^2$$

声强度亦是度量声音强弱的物理量，将其以对数形式表示即为声强级：

$$L_i = 10 \lg(I/I_0)$$

式中， L_i 为声强级； I 为声强； $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ ，为基准值。

表1—3 声级与声压、声强、声功率的换算表

声 级 dB	声 压 μPa		声 强 P_w/m^2	声 功 率 $\text{P}_w(10^{-12}\text{W})$
	空 气 中	水 中		
0	20.00	1.000		1.000
0.2	20.46	1.023		1.047
0.6	21.44	1.072		1.148
1.0	22.44	1.122		1.259
2.0	25.18	1.259		1.585
3.0	28.26	1.413		1.995
4.0	31.70	1.585		2.512
6.0	39.90	1.995		3.981
8.0	50.24	2.512		6.310
10.0	63.24	3.162		10.000
12	79.62	3.981		15.85
16	126.2	6.310		39.81
20	200.0	10.000		100.00
40	2×10^3	10^2		10^4
60	2×10^4	10^3		10^6
80	2×10^5	10^4		10^8
100	2×10^6	10^5		10^{10}
120	2×10^7	10^6		10^{12}
140	2×10^8	10^7		10^{14}
16	2×10^9	10^8		10^{16}

(3) 声功率和声功率级

声功率就是在单位时间内垂直通过指定面积的声能量。而声源的声功率，就是指单位时间内由声源向空间辐射的总声能。即

$$W = U^2 R_A$$

式中， U 为流体的体积速度，单位为米³/秒(m³/s)； R_A 为声源的辐射声阻，单位为帕·秒/米³ (Pa·s/m³)。

声功率级是待测声功率与基准声功率的比值的对数值，即

$$L_w = 10 \lg(W/W_0)$$

式中， $W_0 = 1 \text{PW}$ 或 $W_0 = 10^{-12}W$ ，为声功率基准值。

以对数形式表示的声压级、声强级和声功率级，适应了人耳的听觉规律，在声学领域中得到了广泛的应用，有时把它们统称为声级。声级的换算方法与电声学中计算电平的方法一样，在求相对变化分贝值时，可取二者物理量比值的对数，若求声级的绝对值，则将被测值与参考值（基准值）比较，然后取其对数值。声压、声强或声功率比值与分贝值的关系也可直接由表 1—3 查得。

(4) 响度级

响度亦称音量或声量，是用以度量人耳所感觉的声音强弱的量，它取决于声强、频率和波形。因此，它与声压和声强有着相应的关系，但不是纯物理量，而是与声的物理特性相联系的主观量。响度常用符号 N 表示，单位为“宋”。定义响度时规定，以 1000Hz 的纯音（单频）在声压级为 40dB 时的响度为 1 宋。1 宋等于 1000 毫宋，1 毫宋约相当于人耳刚能听到的声音响度。大量统计表明，一般人耳对声压级的变化感觉是，声压级每增加 10 分贝，响度增加一倍。所