

录 音

〔美〕约翰·厄格尔 著

罗德寿 译

中国电影出版社

1986 北京

John Eargle
SOUND RECORDING

Litton Educational Publishing, Inc. 1976

内 容 说 明

本书是一本专业性较强的技术书籍，偏重于录音理论的阐述与录音设备的性能分析，并辅以相当多的图表。全书共分十章，具体内容
包括：声学的物理特性、心理声学、立体声和四声道立体声的原理及
操作方法、声音加工处理装置、各种传声器和监听扬声器的工作原理
与技术指标、调音台和自动混缩调音台、磁性录音基础、立体声唱片
录音和放音等。其中对心理声学的论述比较新颖、透彻，对立体声部
分的讨论比较详细、深入。

本书可供电影、电视界及其它行业的录音工作人员阅读、参考，
也可作为某些大专院校有关专业的辅助教材。

录 音

〔美〕约翰·厄格尔 著

罗德寿 译

中国电影出版社出版

北下关印刷厂印刷 新华书店发行

开本：850×1168毫米¹/₃₂ 印张：11¹/₄ 插页：2 字数：170,000

1982年8月第1版

1986年6月北京第2次印刷 印数：11,001—18,000

统一书号：15061·178 定价：2.40元

目 录

源序.....	(1)
第一章 声音的物理特性.....	(1)
引言.....	(1)
振动的概念：周期运动.....	(1)
非周期运动：噪声.....	(4)
声音通过空气传播.....	(5)
分贝.....	(7)
声压的测量.....	(12)
以分贝表示的功率电平加法.....	(13)
室外声音按倒数平方规律衰减.....	(14)
声音的绕射和折射.....	(16)
声源和接收器的方向性.....	(19)
近声场和远声场.....	(22)
室内声音的衰减.....	(23)
残响场.....	(25)
诺里斯—艾林残响时间公式.....	(30)
声音在小房间里的动作.....	(30)
第二章 心理声学.....	(35)
引言.....	(35)
响度.....	(36)
双耳听音和定位.....	(38)
幻象.....	(39)

声源之间的延时——领先效应·····	(42)
由于相移而引起的声象扩大·····	(44)
音色上某些与演奏环境有关的特性·····	(46)
早声场·····	(47)
延时和人工残响在录音中所起的作用·····	(49)
演奏环境的主观属性·····	(52)
第三章 立体声 ·····	(55)
简史·····	(55)
立体声系统·····	(56)
立体声信号处理技术·····	(67)
单声兼容问题·····	(72)
假立体声技术·····	(76)
听音室和扬声器的考虑·····	(83)
立体声示波器图形·····	(86)
第四章 四声道立体声(四方声) ·····	(89)
引言·····	(89)
矩阵四方声系统·····	(99)
在四方声中模拟活动声源的乔恩林方法·····	(110)
在四方声阵中稳定幻象·····	(112)
四方声的视觉仪表系统·····	(114)
第五章 传声器(话筒) ·····	(117)
简史·····	(117)
磁性传声器的分析·····	(119)
电容传声器的分析·····	(125)
指向性电容传声器·····	(127)
驻极体传声器·····	(133)
传声器的随机能效率·····	(134)
传声器的基准电平和阻抗数值·····	(136)
传声器的应用·····	(139)

第六章 监听扬声器和监听环境	(149)
引言	(149)
监听系统基本元件	(150)
功率要求	(152)
元件的分析和规格	(152)
监听系统的规格	(160)
增加声输出	(163)
现今的设计惯例	(166)
监听系统的均衡	(171)
监听环境	(183)
第七章 音频控制系统	(187)
引言	(187)
典型音频控制系统	(205)
自动缩混(併道)功能	(212)
第八章 磁性录音	(225)
引言	(225)
电气的和磁性的考虑	(225)
磁带的演变	(230)
电气线性化技术	(237)
机械的考虑	(237)
磁带同步和检索技术	(241)
校准带和标准	(248)
磁带录音机校准步骤	(251)
第九章 信号处理装置	(254)
引言	(254)
均衡器和滤波器	(255)
压缩器和限制器	(262)
噪声门和扩展器	(267)
噪声减低系统	(267)

人工残响.....	(275)
特殊效果.....	(286)
结束语.....	(292)
第十章 唱片录音和放音.....	(295)
简史.....	(295)
基本槽纹尺寸.....	(298)
唱片系统的过载.....	(302)
唱片刻纹头.....	(304)
特殊的信号调整技术.....	(311)
唱针与槽纹的某些关系.....	(319)
主虫胶唱片.....	(322)
唱片转录系统.....	(323)
变节距和变深度控制.....	(324)
四声道唱片技术.....	(327)
唱片转录系统的校准.....	(333)
唱片的加工.....	(334)
附录一 有用的方程式和数学关系式.....	(339)
附录二 普通材料的吸声系数.....	(346)

第一章 声音的物理特性

引 言

专心致志的录音师终究会成为他自己的良师，而年轻的学徒则是通过观察有经验的录音师和协助解决某些问题来学习提高的；然而只有当他开始能抓住声音的基本因果关系，当他学会了通过分析其基本原理来解决新问题的时候，那才能表明他在技艺上的真正成熟。成熟的起码基础是要有声学基本原理的知识、声音是如何产生的知识以及声音是如何传播的知识。

虽然透彻地理解本章需要一定的数学基础，但数学底子有限而又仍能认真地学习录音技术的学生是不会畏难不前的。我们在用数学讲解的同时还选用图表来说明，希望那些图表会弥补数学讲解的不足之处。对于那些曾经善于分析课堂讲课的内容而且想要知道什么是事物所遵循的客观规律的读者，大多数概念都是一目了然的。但又不能一概而论，因此我们建议：觉得第一章难读的学生先慢慢地重复阅读本章各节，并应格外努力把本章各节的讨论和他自己对声音动作的观察结合在一起。

振动的概念：周期运动

正弦波是最简单的一种振动，它是一个重物在弹簧上上下下跳动的自然运动，或者是具有适当位移的钟摆在摆动时的自然运动。周期运动的运动特点是在一条基准线附近作往复运动，如图 1-1(a) 所示。周期运动也可以解释为一个点沿圆周匀速运动时在圆周上的投影。正弦波的一个周期构成了一个完整的 360 度圆

周。正弦波的一周所需要的时间称为周期(T)。有关的一个术语是频率，它表示在一具体时间间隔内的周期数。例如，假如一个正弦波的周期是 $\frac{1}{4}$ 秒($T=0.25$ 秒)，那么它的频率就是 $1/T$ ，即每秒 4 周(赫)。赫兹(Hz)这个术语现在通常用来代替原先的每秒多少周。

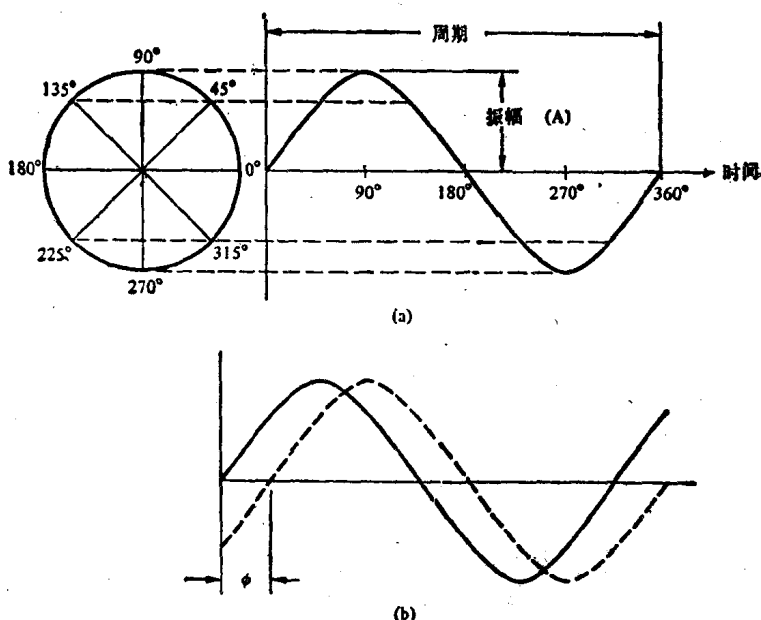


图1-1 (a) 正弦波的产生，振幅和周期；(b) 两个同频率的正弦波之间的相位关系。

例题：求周期为千分之一秒的正弦波的频率。

$$\text{频率} = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.001} = 1000 \text{ 赫(或 1 KHz)}$$

(术语 KHz，或千赫，意为千赫兹)。

表示正弦波另一特性的是振幅(A)，即正弦波离开基准点的位移。位移可以是距离，例如指钟摆而言；假如就电气的正弦波而论，也可以是电流或电压。声波的幅度通常按高于或低于正常

大气压的压力变化来量度。

相位的概念在解释正弦波时是很重要的。相位是指频率相同的正弦波之间在时间上的相对位移,如图 1-1(b)所示。图中虚线的正弦波是将实线的正弦波移动了一段距离 ϕ , 此距离通常用度来表示, 正弦波的一个周期为 360° 。

正弦波在电气工程和机械工程中可能使用很普遍,但是在声音界却很少见,这是因为用来发声的所有的振动元件都有产生出复杂运动的趋势。如果这种运动是持续运动,例如在用弓演奏的

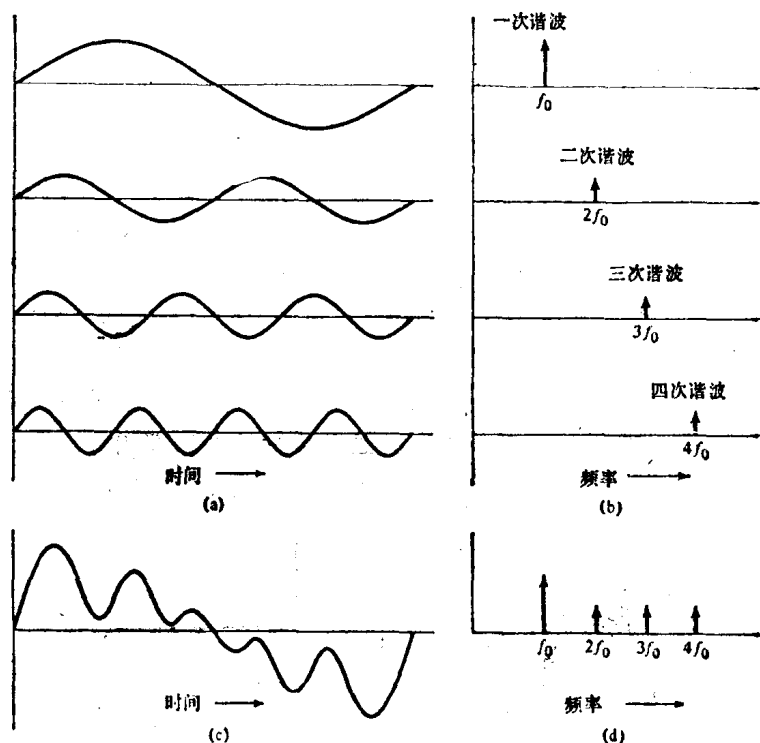


图1-2 (a) 有谐波关系的正弦波; (b) 图(a)中正弦波的频谱; (c) 在图(a)的正弦波上加上正弦波成分而产生复合波; (d) 图(c)所示复合波的频谱。

弦乐器上或在木管乐器上，那么这种复合波波形一般可用一组正弦波来表示，这组正弦波从基波开头，逐渐经过一套有谐波关系的正弦波递增，这套正弦波的周期关系则是 1 、 $1/2$ 、 $1/3$ 、 $1/4$ 、 $1/5$ 等等。如图 1-2 所示，图中，四个有谐波关系的正弦波都叠加在一起产生了一个复合波，图 1-2(c)。复合波的各个成分叫做谐波。图 1-2 (b) 和 1-2(d) 是复合波的每个成分的频谱和复合波自身的频谱。只要规定了谐波个数、谐波的相对幅度和相位关系，就可以实际产生任何一种重复波的波形。

非周期运动：噪声

尽管我们可以将任何不想要的声音都说成是噪声，但是这个术语一般还是用来表示图 1-3 (a) 所示的那种波形。这种波没有周期，所以叫非周期波。正象复合重复波波形可以认为是有谐波关系的正弦波来构成的一样，噪声也可以认为是由无数正弦波的连续频带合成的。假如噪声的频率阵列表现为图 1-3 (b)，那么这种噪声就叫“白噪声”(有点象调频收音机的台与台之间的噪声)。白噪声是频带有限的噪声，这个频带包括的频率成分多达任意个 f 。白噪声这个术语是模拟白光而得到的，白光包括了在可见光频带范围内的所有光谱成分，并且各成分的含量都相等。粉红噪声，也同样是模拟光学名词而得的术语。它在高频端的能量较

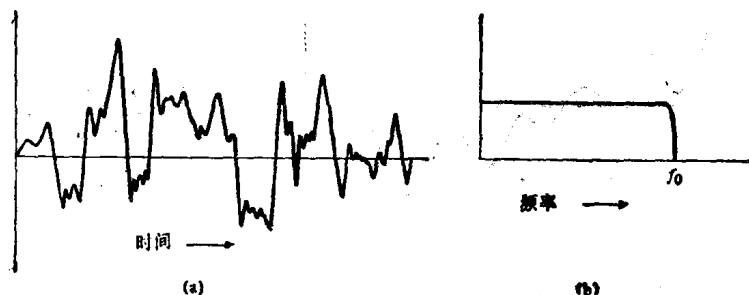


图1-3 图(a)是典型“白噪声”信号的波形；图(b)是它的相应的频谱。

小，频率每增加一倍，能量就减少一半。图 1-4 (a) 所示波形的高频能量比图 1-3 (a) 所示的白噪声波形的高频能量明显减少，而在图 1-3 (b) 中相应的频谱则表示高频时能量下降的特性。

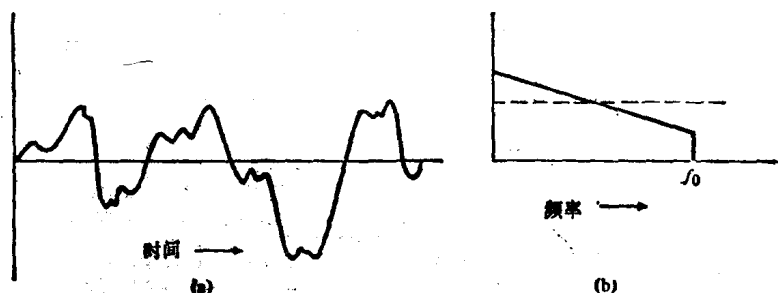


图1-4 典型“粉红”噪声信号的波形示于图 (a)，其相应频谱示于图(b)。

白噪声的每个周期包含相等的能量，或者说，每一个频率表现出相等的能量。粉红噪声在每个倍频程中（或者在一个倍频程的一部分中）包含相等的能量，正如我们在后面的一章中将看到的那样，在均衡扬声器使之具有需要的频响曲线轮廓时，粉红噪声是一种有用的测试信号。

声音通过空气传播

假如一个振动的物体或振动的表面足够大，那么它的振动会把能量分给它周围的空气，于是就产生了声音。一般地说，我们可以给声音下个定义，即它是高于或低于正常气压的压力变化。可以听到的声音的频率范围名义上是从 20 赫到 20000 赫，而声音在空气中的速度大约是每秒 1130 英尺。温度升高，声速加快；温度降低，声速也降低。但我们只是在研究声音在室外长距离传播时才关心声速与温度之间的关系问题。图 1-5 显示出各种声源所产生的频率范围。

让我们假定某声源的频率为 1130 赫。在声速为每秒 1130 英



尺的情况下，其正弦波形的周期起点在每一英尺内都要变更，于是我们便将相邻两个周期的开头之间的距离定义为波长。用简单式子表示是：

$$\text{波长 } (\lambda) = \frac{\text{声速}}{\text{频率}}$$

希腊字母 λ 通常用来代表波长。

[例]：求 10000 赫信号的波长：

$$\lambda = \frac{1130}{10000} = 0.113 \text{ 英尺，或大约 } 1\frac{1}{3} \text{ 英寸。}$$

求 50 赫信号的波长：

$$\lambda = \frac{1130}{50} = 22.6 \text{ 英尺。}$$

显然，给出波长(λ)、频率(f)或速度(v)这三个量中的任意两个量，就可求出第三个量：

$$\lambda = \frac{v}{f}, \quad f = \frac{v}{\lambda} \quad \text{和} \quad v = f\lambda。$$

声音经过空气或其它介质辐射时的确切特征是极为复杂的，对其稍作进一步的讨论所需的数学知识就肯定会超出写这本书打算应用的水平。尽管如此，还是可以对声音辐射作两项重要的观察：

有效低频辐射需要用大的辐射器。倍低音大提琴和短笛两者都具有完成它们相应的工作所需要的恰当尺寸。

直接辐射就要用大的辐射器。虽然倍低音大提琴可以产生较好的低频，但它却是朝许多方向辐射的。摇摆乐演奏会为使声音朝向一个给定方向，则可使用的大型低音扬声器阵列，其尺寸可以与辐射波长本身的大小相接近。

分

基本上说，贝尔(BEL)的定义是功率比的常用对数①：

① 见附录 I。

$$\text{贝尔} = \log \frac{P_1}{P_0}$$

让我们指定 P_0 的数值为 1 瓦, P_1 的数值为 2 瓦。那么,

$$\text{贝尔} = \log \frac{2}{1} = 0.3$$

可见, 2 瓦与 1 瓦的比率就称为 0.3 贝尔。要更方便一些的话, 我们就用分贝 (dB) 这个单位。分贝等于贝尔的十分之一。那么 2 瓦: 1 瓦的功率比就是 3 分贝。实际上, 任何 2:1 的功率比都是 3 分贝, 例如 20 瓦比 10 瓦, 60 瓦比 30 瓦, 6000 瓦比 3000 瓦等等。我们可用以下两种方法之一来指明一个比率: 1 瓦比 2 瓦小 3 分贝, 或者说 2 瓦比 1 瓦大 3 分贝。

把这种标志方法加以扩充, 我们可把 4:1 的功率比看作 6 分贝; 因为 1 比 2 代表 3 分贝, 2 比 4 又代表另外 3 分贝, 合起来就可读成 6 分贝。

让我们把 10 比 1 的功率比化为分贝:

$$\text{分贝} = 10 \log \left(\frac{10 \text{ 瓦}}{1 \text{ 瓦}} \right) = 10 \times 1 = 10 \text{ 分贝}$$

任何一个 10 比 1 的功率比的比率都是 10 分贝, 例如 50 比 5, 1 比 0.1 等等。图 1-6 提供一个很有用的诺模图, 用目测可以求出功率比的分贝数值。用法很简单, 只要把这两个功率电平连起来就可读出其间的分贝数。

例: 求 20 瓦和 500 瓦之间的比率的分贝数。

在 20 瓦的上面读得 13; 在 500 瓦上面读得 27。

高于或低于 1 瓦基准电平的分贝数



图1-6 直接求功率比分贝数值的诺模图。

$$27-13=14 \text{ 分贝}$$

分贝表示法的主要价值在于它使我们能够在较小的数值范围里来讨论数值范围很大的物理数量。

瓦是功率的单位，是做功的速率或是能量扩展的速率。对电气来说，功率是负载两端的电压与流过负载的电流的乘积：

$$\text{功率}(W) = \text{电压}(E) \times \text{电流}(I)$$

在图 1-7(a)中，一个 1 伏电池与一个 1 欧负载电阻串联。在 1 欧电阻上加 1 伏电压可在电路中产生 1 安电流，并且求得的功率是 1 瓦。图 1-7 (b)中，电源电压增加到 2 伏，根据欧姆定律，电流增大到 2 安：

$$\text{欧姆定律： } I = \frac{E}{R} = \frac{2 \text{ 伏}}{1 \text{ 欧}} = 2 \text{ 安}$$

因此，功率为：

$$W = E \times I = 2 \times 2 = 4 \text{ 瓦}$$

假定我们是在讨论固定负载，我们可以把以分贝表示的功率比表示为电压比或电流比。因为把负载两端的电压增大多少，便引起电流同样也增大多少，所以我们可以说，消耗在负载上的功率与电压或电流的平方成正比。用另一种形式来表达：

$$W = \frac{E^2}{R} = I^2 R$$

因此，根据对数基本特性(参看附录 I)，以分贝表示的功率比为：

$$\text{分贝} = 20 \log \frac{E_1}{E_0} = 20 \log \frac{I_1}{I_0}$$

2 比 1 的电压比或电流比代表 6 分贝的功率比：

$$\text{分贝} = 20 \log \frac{2}{1} = 20 \times 0.3 = 6 \text{ 分贝}$$

类似情形，10 比 1 的电压比或电流比是 20 分贝功率比：

$$\text{分贝} = 20 \log \frac{10}{1} = 20 \times 1 = 20 \text{ 分贝}$$

在图 1-8 中列出了一张用法简便的诺模图，可把电压比或电

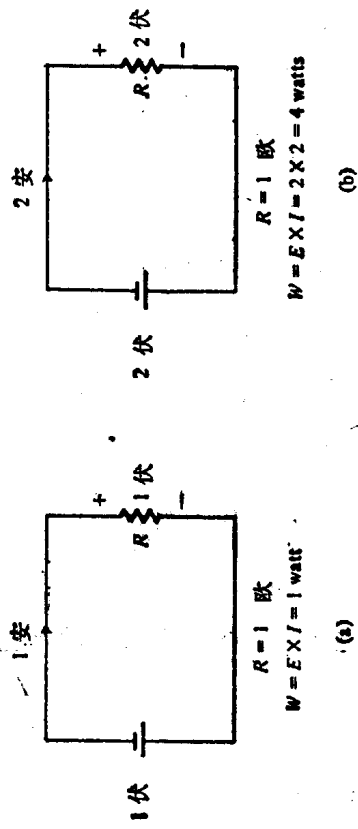


图1-7 在一简单直流电路中的功率关系。

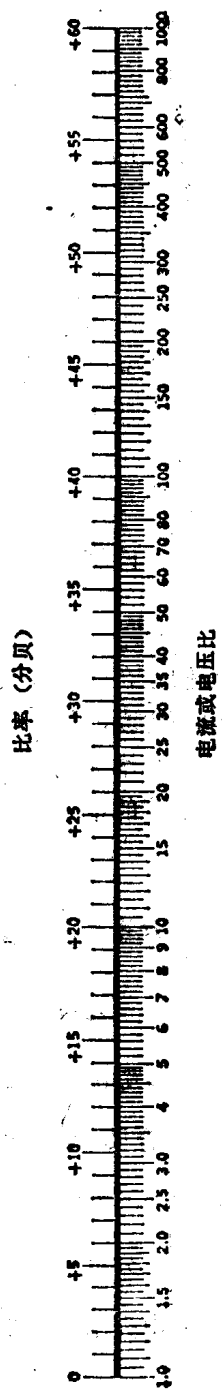


图1-8 直接求电压比或电流比分贝数的诺模图，

图1-9 普通声源的声压级。听觉正常的人可以觉察出120分贝范围以内的声音而不会遭受疼痛或损坏身体；这是一百万比一的能量范围。尽管3分贝变化表示声能加一番，但是大多数听众对相对响度的估计表明，要增加6至10分贝才会使声音有“响度加倍的感觉”。

