

电子乐器及其电路原理

朱福渠 周 瑾 编著



科学普及出版社



TN7
2

电子乐器及其电路原理

朱福渠 周瑾 编著

科学普及出版社

内 容 提 要

电子乐器的问世,不仅大大改善了传统乐器在音域、音色、音响等方面的局限性,而且它能模拟大自然的一切声音,给人们带来了更加丰富多彩的艺术享受。我国电子乐器的研制工作起步较晚,但近年来的发展是比较快的。为适应电子乐器发展和普及的需要,编写了《电子乐器及其电路原理》一书。

本书主要讲述了各种电子乐器的工作原理,及各种自动化演奏系统。从乐器及电子线路的基础知识入手,重点介绍电子乐器的各种基本部件,整机工作原理,并分析了典型线路和具体实例。其特点是:实用性较强。

电子乐器及其电路原理

朱福渠、周瑾 编著

责任编辑:高宝成

封面设计:王序德

科学普及出版社出版(北京海淀区白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京燕山印刷厂印刷

开本:787×1092毫米1/16印张:10.5 插页:14 字数:237千字

1987年12月第1版 1987年12月第1次印刷

印数:1—77,000册 定价:2.30元

统一书号:15051·1221 本社书号:1419

前 言

电子技术已渗透到科学领域的各个方面。电子乐器的问世，不仅大大改善了传统乐器在音域、音色和音响等方面的局限性，而且它能模拟大自然的一切声音，给人们带来了现代化的艺术享受。

随着半导体器件的迅速发展，特别是集成电路和计算机技术的成就，为电子乐器的发展和普及开辟了广阔的前景。我国电子乐器的研制工作起步较晚，但近年来的发展是比较快的。为了适应电子乐器日益发展与普及的需要，我们编写了《电子乐器及其电路原理》一书。本书从乐器和电子线路的基础知识入手，由浅入深地介绍了各种电子乐器的基本部件、工作原理和有关实例。

由于我们学识浅陋，书中肯定会有不少缺点甚至谬误之处，希望广大读者批评指正。

编著者

1983年4月

目 录

第一章 电子乐器的数学与物理基础	1
第一节 乐音的三要素	1
第二节 音乐的基本知识	6
第三节 电子乐器中乐音的模拟方法	13
第二章 各种电子乐器介绍	23
第一节 电吉 他	23
第二节 音乐电子转奏器	24
第三节 电子琴	27
第四节 电子合成器	29
第三章 电子线路基础知识	33
第一节 各种放大电路的基本特性	33
第二节 差动放大器与线性集成电路	38
第三节 运算放大器	43
第四节 数字电路及二进制数的概念	47
第五节 逻辑电路基础	48
第六节 触发器及其应用	55
第七节 振荡器	66
第八节 滤波器	71
第四章 电子乐器的基本部件	76
第一节 音源电路	76
第二节 门控电路	94
第三节 音色模拟电路	112
第四节 效果电路	121
第五章 音乐程序自动化	128
第一节 自动打击乐节奏系统	128
第二节 自动低音伴奏/和弦系统	143
第三节 自动琶音系统	149
第六章 实例——E90H型电子琴	152
电子乐器常用辞汇英汉译名	159
附 1 本书第五章的图5-15、5-19和5-22	
附 2 本书第六章的图6-2~图6-16	

第一章 电子乐器的数学 与物理基础

电子乐器是现代乐器中的一支新秀，它能模拟各种传统乐器，如钢琴、小提琴、单簧管、双簧管、长笛、木琴和曼陀林等的乐音，还能演奏出传统乐器所没有的音色。它能模拟大自然的一切声音，如惊涛拍岸、闪电雷鸣以及潺潺的流水声……，还能创造出自然界所没有的奇妙的声音，将人们带入神奇的幻境。

模拟技术是现代科学技术的重大课题之一，随着科学技术的发展，模拟技术正在各个领域得到广泛的应用。电子乐器能较逼真地模拟各种传统乐器，而且在音域的宽广、音色的丰富和音量的变化幅度等方面，是一切传统乐器所不能比拟的，这是应用模拟技术的一大硕果。

模拟技术可分为物理模拟和数学模拟两大类。所谓物理模拟乃是保持同一物理本质的模拟。也就是说模型与原型区别只是大小比例的不同，而在两者中进行的物理过程的本质是完全相同的。而数学模拟，在模型与原型中进行的过程有着本质的区别，但是两种过程却遵循着相同的数学规律。也就是说，模型中进行的是另一种物理过程，但是这种物理过程与原型中的物理过程可以用同一数学方程式来描述。因此，数学模拟是利用了多种物理现象之间的数学方程式的等同性。

电子乐器是采用电子学的方法去分别模拟管乐器中空气柱的振动，打击乐器中鼓皮、钹面的振动及弦乐器中弦的振动。在电子乐器中，扬声器之前的全部过程，都是电路中电压与电流按照一定规律的运动，它与传统乐器中的机械振动过程有着本质的区别。因此，电子乐器中实现的乃是一种数学模拟。

为了了解电子乐器的基本原理，必须首先了解电子乐器的数学和物理基础。

第一节 乐音的三要素

声音是由物体的机械振动产生的。机械振动在空气中以纵波的形式传播。频率大约在20—20000赫，传播到我们的听觉器官——耳朵时，能引起声的感觉。因此，我们将这个频率范围内的机械振动简称为声音。

声音的种类很多，如乐音与噪音，它们都是由于物体的振动而产生的。然而它们对于人耳却产生完全不同的感觉，乐音悦耳，使人感到心旷神怡，噪音刺耳，会使人烦躁。它们两者的区别在于：乐音是由一连串有秩序并且受控制的反复振动所组成的，它的振动方式是在所规定的频率内形成周期性的波形，如钢琴及单簧管的乐音波形，见图1-1(a)。由图可见，乐音的特性是在规定的频率内有秩序的周期性的振动。但也绝不是要求乐音具有简

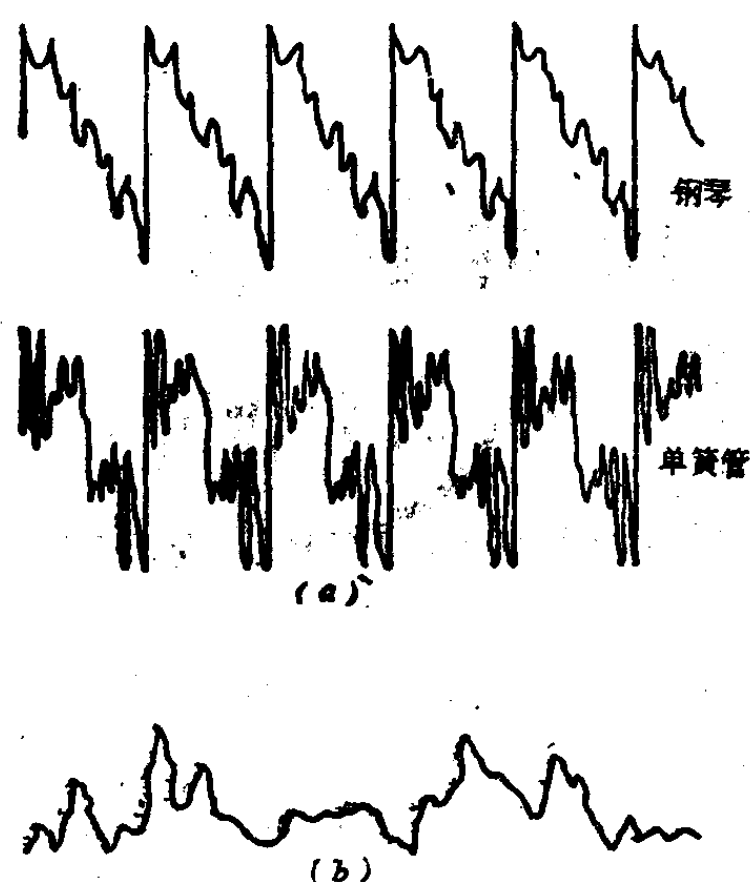


图 1-1 乐音与噪音的波形图
(a) 乐音; (b) 噪音

单的波形。相反，太简单、太富于规律性的波形，将会引起单调的感觉而使人们对音乐失去兴趣。噪音则是一连串不连续的非周期性的振动，其振动频率不均匀地分布在较宽的范围内，其波形，见图1-1(b)。

音乐是人们在长期生活中，为了表达思想感情，塑造特定形象的声音艺术。所以在音乐中大量运用的是乐音。但为了丰富表现力，噪音如某些打击乐在音乐中往往也是不可缺少的。

乐音有三个特性，即音调、响度和音色，人们称它为乐音的三要素。现在我们分别讨论如下。

一、音 调

音调也称音高，即乐音的高低。它是由声源的振动频率决定的。

图1-2所示的两条曲线，分别表示两个音叉的振动图线。图1-2(a)是低音音叉的振动图线；图1-2(b)是高音音叉的振动图线。比较这两条曲线，可以看出：在相同的时间内，低音音叉比高音音叉的振动次数少。也就是说，低音音叉的频率比高音音叉低。由此可见，音调的高低决定于声源的频率。

频率越高，音调越高；频率越低，音调越低。乐音使用的频率是在27-4186赫之间。

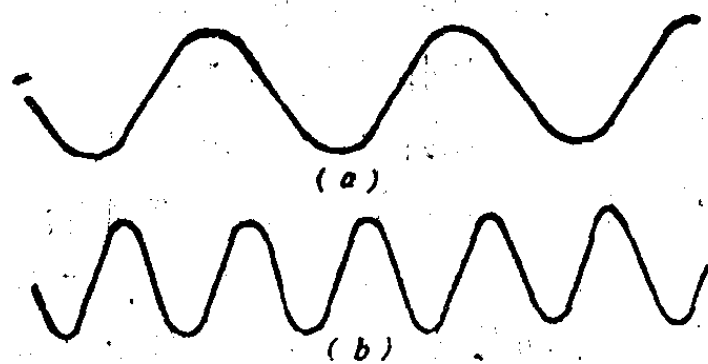


图 1-2 低音音叉与高音音叉的振动图线
(a) 低音振动图线; (b) 高音振动图线

二、响 度 和 声 强

声强是由声源振动的振幅决定的。如图1-3所示的两条振动图线，其中(a)表示当用橡皮锤轻击音叉时描出的振动图线，图(b)为用橡皮锤重击音叉时描出的振动图线。由图可见：音叉的振动频率相同，但振幅不同。振幅较小者，声音较弱；振幅较大者，声音较强。

物体振动时，振动体的一部分能量传递给周围空气分子，使空气分子也发生振动。声强越大，单位时间内传给空气分子的能量也越多。声强定义为：每秒钟垂直地通过单位面积的声波的能量。它的单位是尔格/厘米²·秒。

当声源发出的声波向各个方向传播时，其声强显然将会随传播距离的增大而减小。这是由于声波的分布面积随着距离的增大而增加。如图1-4所示，以声源为中心，以 r_1 、 r_2 为半径分别作两个球面，用 E 表示声源每秒钟发出的能量，则第一个球面上的声强 I_1 为：

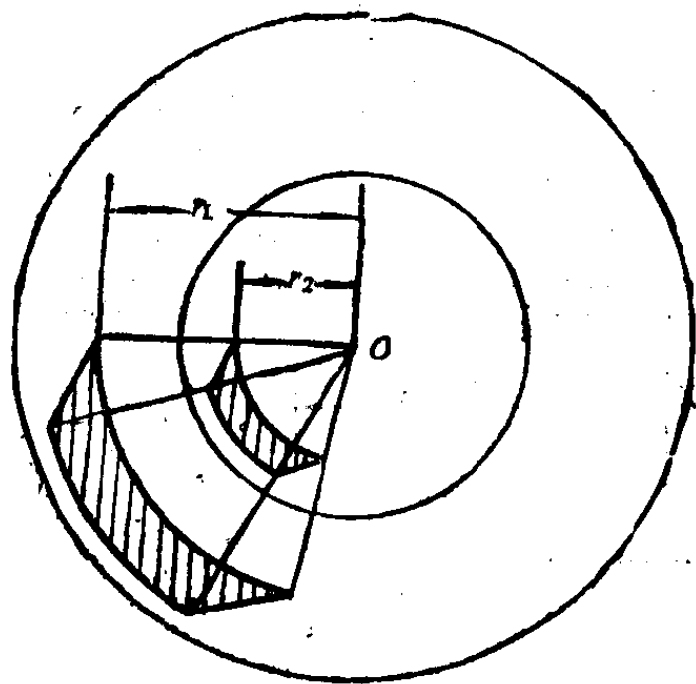
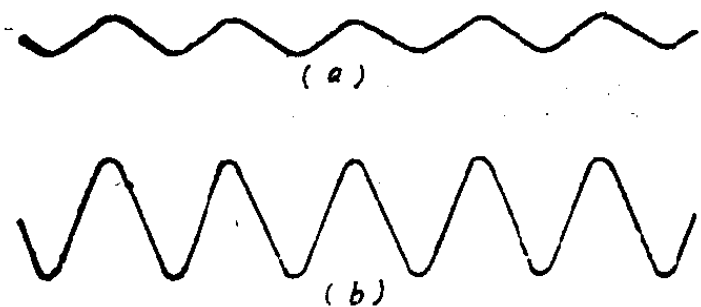


图 1-3 同一频率响度不同的振动图线 图 1-4 通过单位面积的声能与离开声源距离的平方成反比
(a) 声音弱的振动图线; (b) 声音强的振动图线

$$I_1 = \frac{E}{4\pi r_1^2}$$

第二个球面上的声强为:

$$I_2 = \frac{E}{4\pi r_2^2}$$

因此, $I_1 : I_2 = r_2^2 : r_1^2$ 即声强与离开声源的距离平方成反比。

人耳对于不同频率的声音, 感觉的灵敏度是不同的。例如频率为2000赫的声音, 只要声强为 2×10^{-8} 尔格/厘米²·秒就能听到, 但对于频率为50赫的声音, 则声强需增加到 5×10^{-8} 尔格/厘米²·秒才能听到。我们将人们对声强的主观听觉“感受度”叫做响度。声强与响度的关系是比较复杂的。但是声强越大, 我们感觉到的响度也会越大。

三、音 色

音色又叫音品。两种发声体发出的声音, 即使音调和响度都相同, 但人们仍能区分它们各是什么发声体发出的声音, 如唢呐与二胡在演奏同一乐曲时, 我们一听就能区别这是两种乐器。这说明乐音除了音调与响度外还有第三个特性——音色。我们知道音叉的振动是一种单一频率的简谐振动, 它发出的声音听起来很单纯, 我们称它为纯音, 而乐器发出的声音就比较复杂了。图1-5(a)表示小提琴发出的声波。后面我们将会看到这一波形可以分解为频率分别为 f 、 $2f$ 、 $3f$... 多种简谐波之和, 见图1-5(b)。也就是说, 图1-5(a)的波形是由频率与振幅不同的许多纯音波组成的。这种由许多纯音组成的声音, 我们称它为复音。在复音中, 除了频率为 f 的声音外, 还有频率为 $2f$ 、 $3f$ 、 $4f$... 等的声音混合在内。这个最低频率, 即频率为 f 的声音叫做基音, 而其它各音分别称之为第一泛音、第二泛音... 高次泛音。通常在乐音中, 基音的振幅比各高次泛音的振幅大, 所以复音的音高是由基音的频率决定的。

将图1-1中钢琴和单簧管发出的声音波形, 通过一定的方法转化成相应的电压或电流变化的波形, 并输入到频谱分析仪中进行测量分析, 就可以发现: 钢琴发出的声音与单簧管发出的声音, 是由不同的纯音成份组成的。基音的振幅最大, 各泛音的振幅都比较小。

而且也各不相同。对复音的这种分析结果，可以用一种频谱图形来表示。图1-6就是频率均为100赫的钢琴和单簧管的频谱图。图中横坐标表示各纯音的频率，纵坐标表示它们的振幅。从这两幅频谱图可以看到，它们所包含的泛音成分是不同的。不仅泛音的个数不同，其振幅与频率也不同。由此可见，乐音的基音频率决定它的音高，而泛音的多少及泛音的频率和振幅决定声音的音色。因此音色是由声音的频谱决定的。

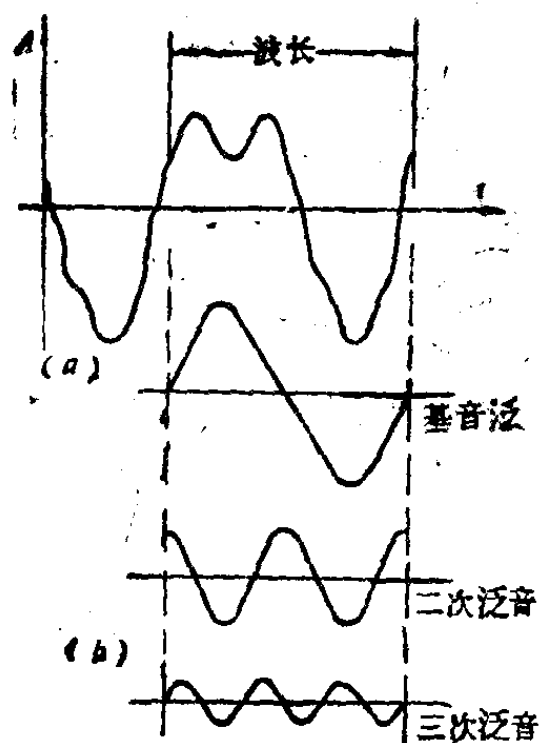


图 1-5 任意波形的分解
(a)合成波；(b)各分解波

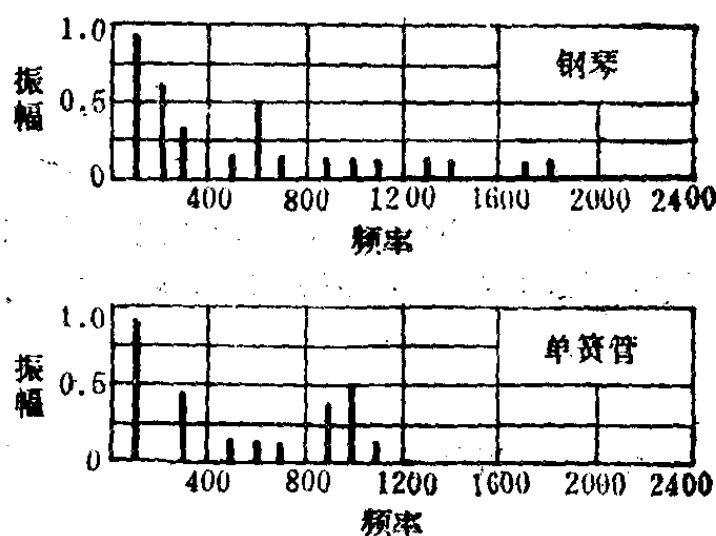


图 1-6 频率为100赫的钢琴声和单簧管声的频谱图

音色取决于频谱，而不取决于声波的波形，这一点可以用图1-7来说明。其中图(a)和(b)都是由频率为 f 的基音和 $2f$ 的二次泛音合成的。但是，由于二次泛音的相位不同，所合成的波形也就显著不同。人耳先将外来的声音分解成纯音，然后依据这些纯音强度的比例，就产生音色的感觉。只要稍微受过音乐训练的人们的耳朵就能分辨 f 、 $2f$ 、 $3f$ 等频率的音。例如，钢琴演奏某一低音时，侧耳细听，就能听出其中混有较高频率的泛音。但是必须指出，以上所说的音色仅决定于频谱是指连续振动的声驻波而言的。但在声音刚发出或结束时，说音色决定于波形的包络形状更为确切。因为各种乐器如钢琴、扬琴、琵琶和吉他，它们在外力作用下，发声体按照各自独有的特点起振。起振之后，其振幅值随时间又按各自独特的规律衰减。这些开始与结束时波形的包络形状称为音形。如钢琴、琵琶、扬琴等演奏时，声音突然增强，然后按某种规律渐渐衰减，我们称它为“弹拨音形”；箫、笛、笙等乐器则发出持续、起伏的音强，形成“吹奏音形”；弦乐器则由于运弓手法的不同可以发出“连弓音形”、“跳弓音形”、“顿弓音形”等等，所以乐音的音头和音尾的波形包络形状是影响人们对乐器音色判断的重要因素。一般地说，弦或空气柱等以某一基本频率作简谐振动的同时，还包含了各种高次频率的谐振动。这一事实，可以用以下实验来说明：取一根长为 l 的弦，把它两端固定而拉紧，弹一下弦，使其振动，波就将沿着弦传播，在弦的两固定端往返反射而形成驻波，见图1-8。这种驻波的波形显然是以两端 A 、 B 为波节，其频率最小的振动，见图1-8(a)。它是以弦的全长 l 作为半波长。若用 λ 表示波长，则

$$\lambda = 2l$$

所以基音的频率为

$$f = \frac{v}{2l}$$

式中 v 为声波在弦中的传播速度，其值决定于弦的张力及弦的线密度。

除了激起基音的振动外，还有与高次泛音相对应的振动，如图1-8(c)、(b)所示的驻波。因此，在弦的振动中，包含有基音频率整数倍的所有的高次泛音。

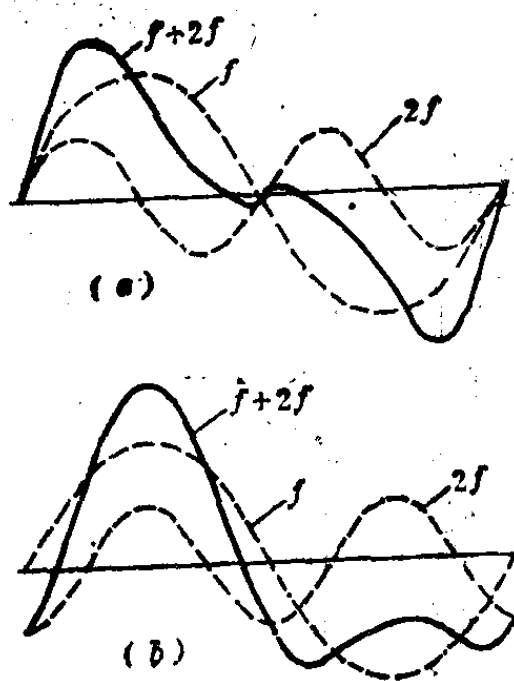


图 1-7 音色取决于频谱而不取决于波形

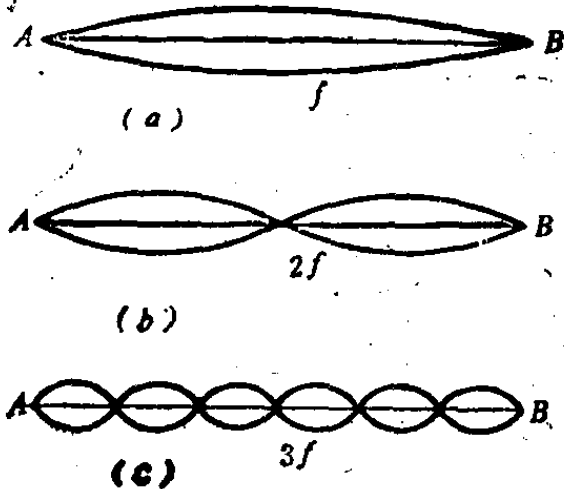


图 1-8 弦的振动
(a)基音；(b)二次泛音；(c)三次泛音

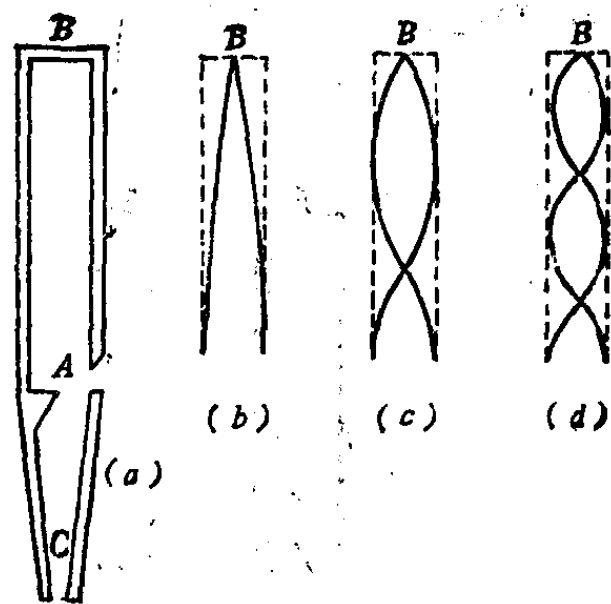


图 1-9 闭口管风琴管及其振动波形
(a)闭口管；(b)、(c)、(d)振动波形

再以空气柱的振动为例来说明音色的形成。图1-9(a)为一闭口管风琴管，空气从C口吹入，在A口附近产生漩涡，使空气柱AB振动，在AB间形成驻波。因为A端是与外部空气相通的，所以空气分子可以自由运动，故A端形成波腹。由于B端是闭口的，所以在B端形成波节。因此，基音振动波形，见图1-9(b)。其频率为

$$f = \frac{v}{4l}$$

式中 l ——空气柱的长度；

v ——音波在空气柱中的传播速度。

其各次泛音的波形，见图1-9(c)、(d)。它们的频率分别为

$$f_n = (2n+1)f$$

n 为正整数

如图1-10(a)，当B端为开口时，就形成A、B端都是波腹的驻波，其各次泛音的波形，见图1-10(b)、(c)、(d)，它们的频率分别为

$$f_n = nf$$

其中

$$f = \frac{v}{2l}$$

由此可见，在开口管和闭口管中，即使基音频率相等，而开口管的高次泛音的频率为基音频率的所有整数倍；闭口管的高次泛音仅为基音频率的奇数倍，所以两者的音色是不同的。

在传统乐器中，共鸣腔（共鸣体）的形状与大小，也是决定音色的重要因素。如大提琴与小提琴，琴体的大小显著不同，因而使得它们的音色也各不相同。大提琴的声音浑厚饱满，小提琴的声音明亮柔美。为了说明共鸣体在音色形成中的作用，我们可以观察如下的实验：如图1-11的装置，提高或降低A瓶的位置可以调节管内水面的高度，若在管口附近

放一音叉，在敲响音叉的同时，降低管内的水面，当水面降低到一定程度时，声音的强度将显著增加。这现象说明：当管内水面上方的空气柱为某一特定高度时，能与该频率的音叉振动发生共振，因而振幅大大增大。空气柱在共振时不仅产生与音叉同频率的基音，同时也产生相应的高次泛音。提琴的琴体就起着这种共鸣的作用。它一方面增大弦振动的音量，同时也增加了许多泛音成分，所以一把音色丰富而悦耳的提琴必须要具备一个设计合理的琴体。

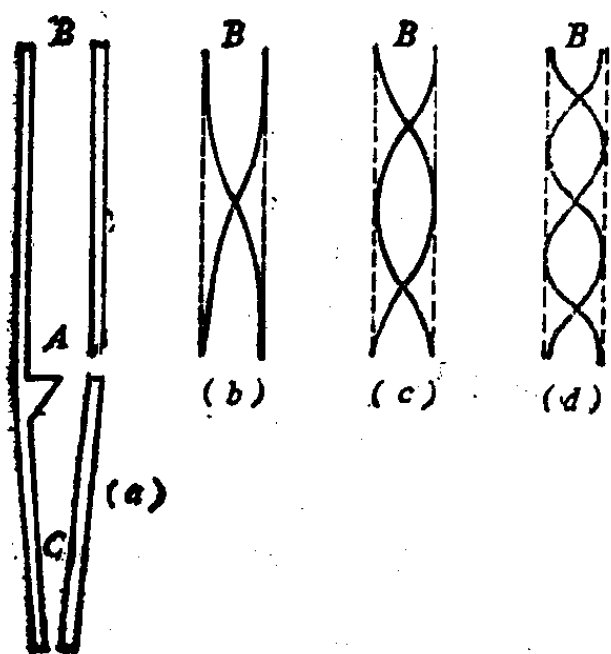


图 1-10 开口管风琴管及其振动波形
(a)开口管；(b)、(c)、(d)振动波形

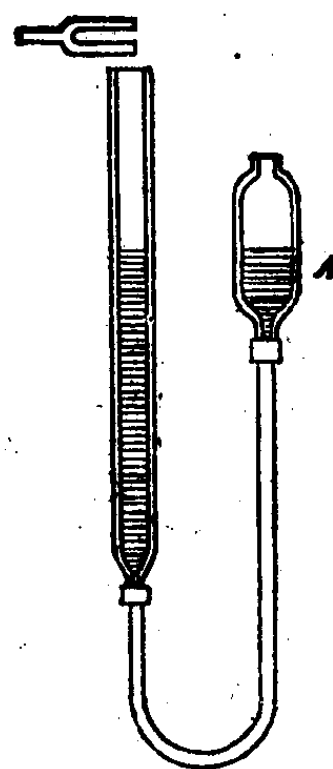


图 1-11 共鸣的实验

电子乐器的设计，必须注意音调、音色及音形对乐音的作用与影响。

第二节 音乐的基本知识

电子乐器在模拟各种传统乐器的音调、音色和音形的同时，还能以自动的方式去模仿各种演奏能力，如：自动节奏；自动和弦；自动低音伴奏；自动琶音伴奏，等等。因此在讲述电子乐器的基本原理之前，有必要对音乐的基本知识作简要的介绍。

一、音列及音程

音乐是通过有规律的声音进行来反映人们思想感情的一种艺术。在音乐中使用的有固定频率的音的总和叫做乐音体系。乐音体系中的各个音叫做音级。各个音级按照音高次序排列起来叫做音列。在音列中，有七个具有独立名称的音叫做基本音级，它们的音名分别为do、re、mi、fa、sol、la、si。并分别用符号C、D、E、F、G、A、B来标记。如图1-12钢琴上的七个白键的音名即为C、D、E、F、G、A、B。

两音之间音高的距离叫做音程。在以上七个基本音级中，E与F、B与C之间音高的距离仅为其它相邻音级之间距离的一半，所以我们称它们之间的音程为半音音程，而称其它相邻各音之间的距离为全音音程。在这些全音音程之间又加入新的半音音级，如图1-12中

的各个黑键，分别用 $*C$ 、 $*D$ 、 $*F$ 、 $*G$ 、 $*A$ 标记，并称它们为变化音级。这样就使相邻两键（包括黑键）之间的距离都是半音。

要观察乐音体系中的音列，利用钢琴的琴键是很恰当的，如图1-12所示，钢琴中88个键相当于音列中的88个音，它们几乎包括了乐音中的全部音级。这88个键，循环重复地使用着基本音级和变化音级。

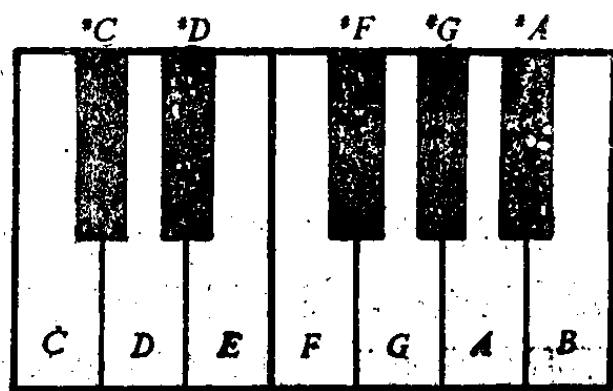


图 1-12 钢琴的琴键

为了区别音名相同而音调不同的音级，将乐音体系中的音级分为若干组，每一组都有它的名称。在音列中央的一组叫做小字一组，它的音名用小写字母并在右上方加数字1来标明，如 c^1 、 d^1 、 e^1 ...

比小字一组高的组顺次定名，它们的音名是用小写字母并在右上方加组的号数来标明：

小字二组——音级标记为 c^2 、 d^2 、 e^2 、...

小字三组——音级标记为 c^3 、 d^3 、 e^3 、...

小字四组——音级标记为 c^4 、 d^4 、 e^4 、...

小字五组——只有 c^5 。

比小字一组低的组是如下标记的：

小字组——用不带数字的小写字母来标明音级，如 c 、 d 、 e ...

大字组——用不带数字的大写字母来标明音级，如 C 、 D 、 E ...

大字一组——音名标记为 C_1 、 D_1 、 E_1 ...

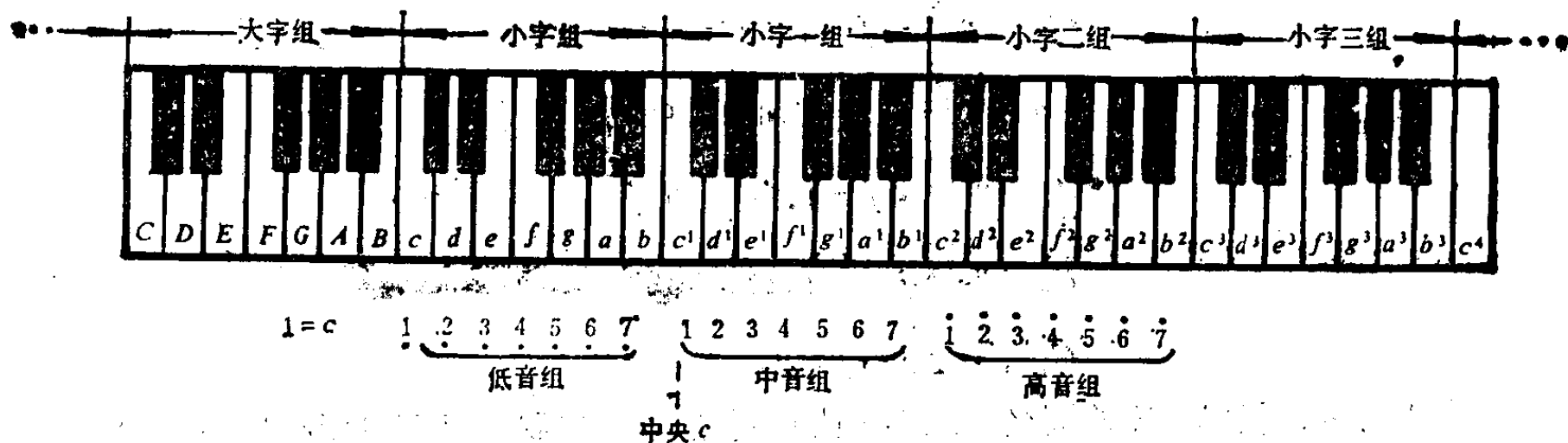


图 1-13 音列的说明

大字二组（在钢琴上不完全）——用大写字母并在下方加数字2来标明，有 A_2 、 B_2 。

由图1-13可见，七个基本音级带着它们的独立名称在音列的不同部分上循环重复。假如拿某个音级作为第一级，那么按照次序第八级就好象是第一级在另一个高度的重复，因此第八级也就获得和第一级同样的名称。由本级到上面或下面的第八个音级间的音程距离为八度，由此可见八度音程中包含着 C 、 $*C$ 、 D 、 $*D$ 、 E 、 F 、 $*F$ 、 G 、 $*G$ 、 A 、 $*A$ 、 B 以半音音程递增排列的十二个乐音音级。

二、十二平均律

乐音体系中各音的绝对准确高度（频率）及其相互关系叫做音律，也叫律制。它是确定音高的基础。目前国际上广泛采用的有三种律制：即纯律、五度相生律和十二平均律。下面我们只把和设计与制作键盘式电子乐器有关的十二平均律作一简单介绍。十二平均律是我国明代学者朱载堉（1536—1611）在1581年之前首创的。所谓十二平均律，就是将八度分成12个均等部分——半音的音律。在每个八度音内，12个音之间的频率成等比级数关系，其公比系数为 $\sqrt[12]{2} \approx 1.059\ 64$ 。

设某一八度的C音频率为 f ，则这八度内其余各音的频率为：

$$C_n = f$$

$$*C_n = 2^{\frac{1}{12}} \cdot f = 1.059\ 463f$$

$$D_n = 2^{\frac{2}{12}} \cdot f = 1.122\ 462f$$

$$*D_n = 2^{\frac{3}{12}} \cdot f = 1.189\ 207f$$

$$E_n = 2^{\frac{4}{12}} \cdot f = 1.259\ 921f$$

$$F_n = 2^{\frac{5}{12}} \cdot f = 1.334\ 839f$$

$$*F_n = 2^{\frac{6}{12}} \cdot f = 1.414\ 214f$$

$$G_n = 2^{\frac{7}{12}} \cdot f = 1.498\ 307f$$

$$*G_n = 2^{\frac{8}{12}} \cdot f = 1.587\ 401f$$

$$A_n = 2^{\frac{9}{12}} \cdot f = 1.681\ 792f$$

$$*A_n = 2^{\frac{10}{12}} \cdot f = 1.781\ 797f$$

$$B_n = 2^{\frac{11}{12}} \cdot f = 1.887\ 748f$$

$$C_{n+1} = 2^{\frac{12}{12}} \cdot f = 2f$$

由上可见，相邻八度的同名音之频率比正巧是2。所以我们又可以说：凡一音程，其高音频率对低音频率之比等于2者，叫做八度。

国际上目前采用以 $a^1 = 440$ 赫作为标准国际音高。

表1-1列出了以标准国际音高 $a^1 = 440$ 赫时各个音的标准频率值。

三、音程值

乐理上采用音程值来定量地描述两个乐音之间的音高关系。定义音分为微小音程的计算单位，因为音分是由爱利斯提出的，所以又称爱利斯音分。1音分为平均半音音程值的1%。

由此可见，一个半音音程为100音分，一个八度的音程为1200音分。

表 1-1

各音的标准频率值 (Hz)

小字五组 频率	C ⁵ 4 186.0	*C ⁵ 4 434.9	d ⁵ 4 698.6	*d ⁵ 4 978.0	e ⁵ 5 274.0	f ⁵ 5 587.7	*f ⁵ 5 919.9	g ⁵ 6 271.9	*g ⁵ 6 644.9	a ⁵ 7 040.0	*a ⁵ 7 458.6	b ⁵ 7 902.10
小字四组 频率	C ⁴ 2 093.0	*C ⁴ 2 217.5	d ⁴ 2 349.3	*d ⁴ 2 489.0	e ⁴ 2 637.0	f ⁴ 2 793.8	*f ⁴ 2 960.0	g ⁴ 3 136.0	*g ⁴ 3 322.4	a ⁴ 3 520.0	*a ⁴ 3 729.3	b ⁴ 3 951.05
小字三组 频率	C ³ 1 046.5	*C ³ 1 108.7	d ³ 1 174.7	*d ³ 1 244.5	e ³ 1 318.5	f ³ 1 396.9	*f ³ 1 480.0	g ³ 1 568.0	*g ³ 1 661.2	a ³ 1 760.0	*a ³ 1 864.7	b ³ 1 975.53
小字二组 频率	C ² 523.25	*C ² 554.37	d ² 587.33	*d ² 622.25	e ² 659.26	f ² 698.46	*f ² 739.99	g ² 783.99	*g ² 830.61	a ² 880.00	*a ² 932.33	b ² 987.77
小字一组 频率	C ¹ 261.63	*C ¹ 277.18	d ¹ 293.66	*d ¹ 311.13	e ¹ 329.63	f ¹ 349.23	*f ¹ 369.99	g ¹ 392.00	*g ¹ 415.30	a ¹ 440.00	*a ¹ 466.16	b ¹ 493.88
小字组 频率	C 130.81	*C 138.59	d 146.83	*d 155.56	e 164.81	f 174.61	*f 185.00	g 196.00	*g 207.65	a 220.00	*a 233.08	b 246.94
大字组 频率	C 65.406	*C 69.296	D 73.416	*D 77.782	E 82.407	F 87.307	*F 92.499	G 97.999	*G 103.83	A 110.00	*A 116.54	B 123.47
大字一组 频率	C ₁ 22.703	*C ₁ 34.648	D ₁ 36.708	*D ₁ 38.891	E ₁ 41.203	F ₁ 43.654	*F ₁ 46.249	G ₁ 48.999	*G ₁ 51.913	A ₁ 55.00	*A ₁ 58.270	B ₁ 61.736
大字二组 频率	C ₂ 16.352	*C ₂ 17.324	D ₂ 18.354	*D ₂ 19.445	E ₂ 20.602	F ₂ 21.827	*F ₂ 23.125	G ₂ 24.500	*G ₂ 25.957	A ₂ 27.500	*A ₂ 29.135	B ₂ 30.868

音分 I 与频率比的关系可用下式表示:

$$I = \frac{1200}{\log 2} \cdot \log f_2/f_1 \\ = 3986.3 \log f_2/f_1$$

音程还可由度数与音数来量度。

音程的度数是指音程在五线谱上所包含的线与间的数目。五线谱的每一个线或每一个间叫做一度。同一线上或同一间上构成的音程叫做一度, 相邻的线与间构成的音程叫做二度, 相邻的线与线或间与间构成的音程叫做三度, 其余类推。

音程的音数是指音程中所包含的半音 $\left(\frac{1}{2}\right)$ 或全音 (1) 的数目, 可用整数或分数来表示。

为了区别度数相同而音数不同的音程, 在音程的度数前用大、小、增、减、倍、倍增、倍减、纯等文字来加以说明。例如 C 到 D 音程的音数为 1 , E 到 F 的音数为 $1/2$, 而它们的音程的度数都为二度。为了区别, 把音数为 1 的二度叫做大二度, 音数为 $1/2$ 的二度叫做小二度, 其余类推。图1-14表示由 C 向上构成的音程关系。

图中音程的度数、音数以及近似频率比归纳起来, 见表1-2。

图1-14的数字说明

表 1-2

音程		频率比	误差	举 例
度 数	音 数			
小二度	$1/2$	$19/8$	-0.37	$E-F, B-\dot{C} \dots$
大二度	1	$9/8$	$+0.22$	$C-D, D-E \dots$
小三度	$1\frac{1}{2}$	$6/5$	$+0.91$	$D-F, E-G \dots$
大三度	2	$5/4$	-0.79	$C-E, F-A \dots$
纯四度	$2\frac{1}{2}$	$4/3$	-0.11	$C-F, D-G \dots$
增四度	3	$17/12$	$+0.56$	$F-B, \dots$
纯五度	$3\frac{1}{2}$	$3/2$	$+0.11$	$C-G, D-A \dots$
小六度	4	$19/12$	-0.28	$E-\dot{C}, A-\dot{F} \dots$
大六度	$4\frac{1}{2}$	$5/3$	-0.9	$C-A, D-B \dots$
小七度	5	$16/9$	-0.23	$D-\dot{C}, E-\dot{D} \dots$
大七度	$5\frac{1}{2}$	$15/8$	-0.67	$C-B, F-\dot{E} \dots$
纯八度	6	2	0	$C-\dot{C}, D-\dot{D}$

注: 表中 $\dot{C}$ 表示 C 的高八度, 余类推。

四、音乐的三要素

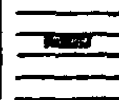
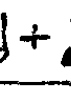
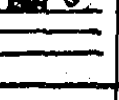
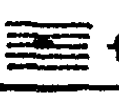
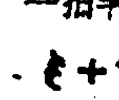
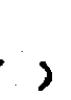
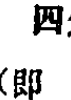
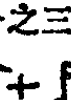
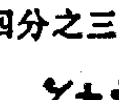
音乐是人们内心思想感情的一种表达形式, 其展现的形式是按照一定的规律发出形形色色的乐音声响。它涉及社会现实、民族习惯、民族语言、音乐艺术、传统作曲和指挥的艺术风格等方面。在这千变万化的艺术长河中, 可以抽象出表征音乐特征的规律性的东西, 即旋律、节奏和声等三个方面, 人们称之为音乐的三要素。

1. 旋律 是以调式、节奏、节拍等条件制约组合起来的一系列乐音的连续进行称之为旋律。旋律是音乐的灵魂与基础。

2.节奏 是指组织起来的音的长短、强弱关系。它是音乐艺术的骨骼。在某种意义上讲,旋律就是按照一定节奏组织起来的音群。有节奏的音群才是具有抑扬顿挫的音乐。离开了节奏,曲调就不存在了。

在乐曲中通常由音符、休止符、附点来表达。音符是表示音的高低和长短,其中音的高低由音符在五线谱中所占位置决定,见图1-14。长短(即:时值)则由各种音符的符号来表示,各种音符的名称及拍数,见表1-3(a)。

休止符是表示发音停顿的长短,其时值也由各种休止符的符号来表示。各种休止符的名称及拍数,见表1-3(b)。

音符及附点音符 表1-3(a)				休止符及附点休止符 表1-3(b)			
符 号	名 称	拍 数 (以四分音符为一拍)		符 号	名 称	拍 数 (以四分音符为一拍)	
纯 音 符		全 音 符	四 拍	纯 休 止 符		全 休 止 符	四 拍
		二 分 音 符	二 拍			二 分 休 止 符	二 拍
		四 分 音 符	一 拍			四 分 休 止 符	一 拍
		八 分 音 符	半 拍			八 分 休 止 符	半 拍
		十 六 分 音 符	四 分 之 一 拍			十 六 分 休 止 符	四 分 之 一 拍
		三 十 二 分 音 符	八 分 之 一 拍			三 十 二 分 休 止 符	八 分 之 一 拍
附 点 音 符		附 点 二 分 音 符	三 拍 (即  + )	附 点 休 止 符		附 点 二 分 休 止 符	三 拍 (即  + )
		附 点 四 分 音 符	一 拍 半 (即  + )			附 点 四 分 休 止 符	一 拍 半 (即  + )
		附 点 八 分 音 符	四 分 之 三 拍 (即  + )			附 点 八 分 休 止 符	四 分 之 三 拍 (即  + )

乐曲的节奏有一定的拍型,由每小节所占有拍数不同而分为许多种拍型,例如有2/4、3/4、4/4、6/8...,此外在一小节中各拍是有强弱之分的,其规律如表1-3(c)所示。

3.和声 两个以上的音结合起来同时发出形成和声。它起到陪衬主旋律、加强乐曲的气氛和节奏感的作用。

和声的具体组合形式,称为和弦。显然,两个同度的音是最和谐的,但相差八度,即其频率比为1:2的两个音,听起来其和谐的程度也与同度音和声相似。两个五度音程或四度音程(表1-2中的C—G或C—F)关系的音所形成的和声就不象八度音的和声那样和

谐,但仍会产生混为一体的声感,所以它们也是谐和音组。大三度(如表1-12中的C—E)或小三度(如表1-2中的E—G)所形成的和声,其谐和程度就差些了,听起来就有两个音独立作响的感觉,但并不刺耳,给人以一种有力、康庄、向前的感觉。小三度和弦则用以渲染悠扬、深情的气氛。

大二度、小二度关系的和声,听起来很不和谐,常用来表现矛盾、意外、阴险、残忍等特殊艺术意境。

常见的节奏拍型 表1-3(c)

拍型	含义	强弱规律
2/4	每小节二拍	● ○
3/4	每小节三拍	● ● ○
4/4	每小节四拍	● ○ ● ○
6/8	每小节六拍	● ○ ○ ● ○ ○

注: “2/4, 3/4, 4/4”以四分音符为一拍;

“6/8”以八分音符为一拍。

● 表示强拍 ● 表示次强拍 ○ 表示弱拍

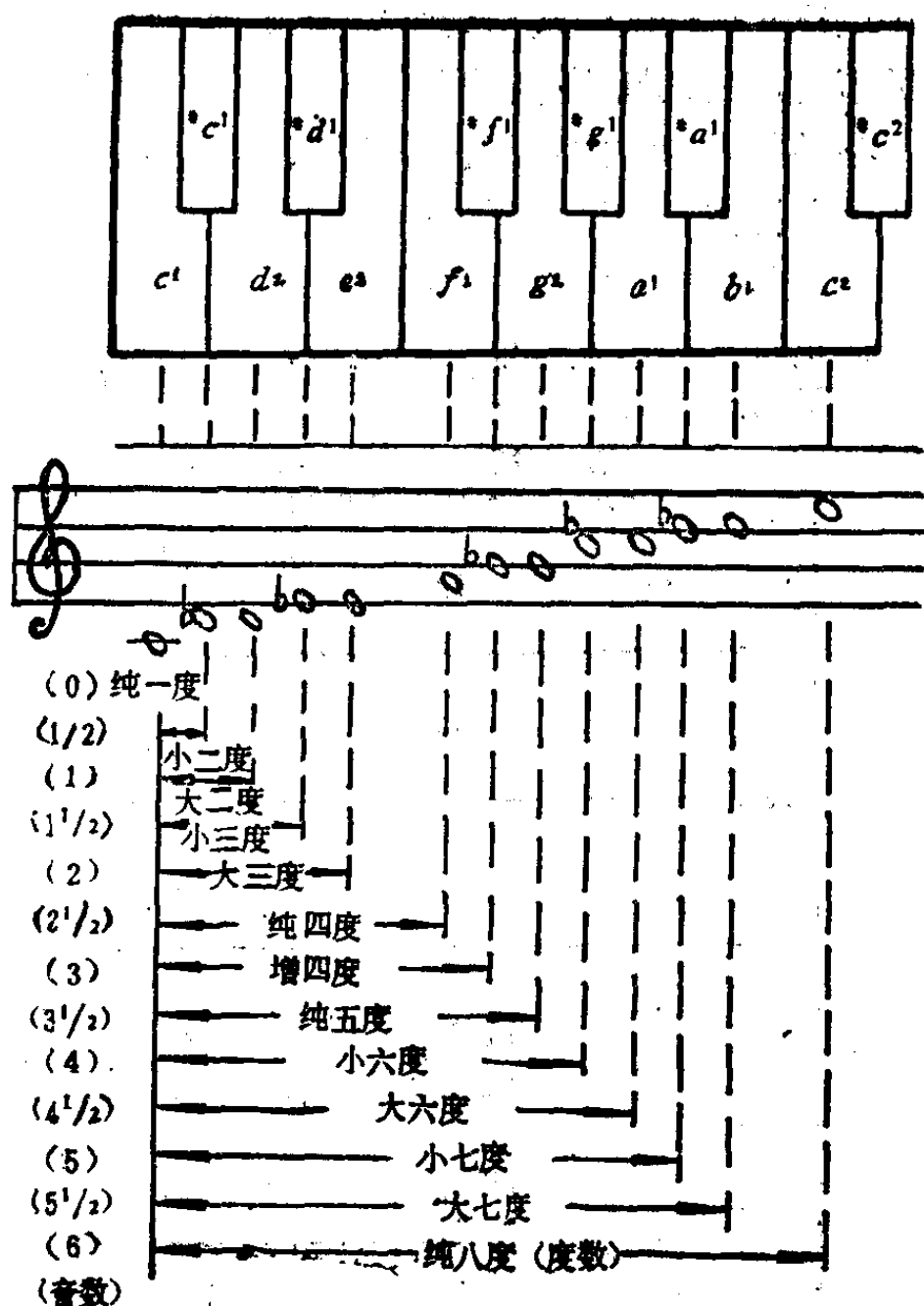


图 1-14 音程的度数与音数的关系

从谐波关系上看,八度音程的和弦是由基波与二次谐波构成的,五度和弦是由基波及其三次谐波构成的,四度和弦则是由三次谐波与四次谐波构成的,大三度为四次与五次谐波构成,小三度则是由五次和六次谐波构成的,大二度是由八次和九次谐波构成的,小二度是由十五次和十六次谐波构成的。

和声不限于两个,一个多音和声可以任何一个音为根音,向上叠置其三度音,再叠置后者的三度音,这样两个三度音重叠就构成了三和弦。例如以 C' 为根音构成大三和弦时各音为:

g' C392.0赫——五音(根音上的五度音);

e' C329.0赫——三音(根音上的三度音);

c' C261.6赫——根音。

由于三度有大小之分,所以三和弦又有几种不同的结构和相应的名称。我们把从根音往上数,大三度叠加大三度叫做大三和弦,其特点是音响和谐而融洽,色彩较为明亮;小三度叠加大三度叫做小三和弦,其特点是音响和谐;小三度叠加大三度叫做减三和弦,其特点是音响不和谐;大三度叠加大三度叫做增三和弦,其特点是音响很不和谐而尖锐。三和弦运用较多。各种和弦的选择要按乐曲的需要而定。

在三和弦的五音上再重叠一个三度音,就构成了七和弦。例如以 C' 为根音,构成七