

青年自学技术丛书

汪学礼 汤为杰 编著

电子琴

原理 · 使用 · 维修

上海科学普及出版社

青年自学技术丛书

电 子 琴

原 理 · 使 用 · 维 修

汪学礼 汤为杰 编著

上海科学普及出版社

责任编辑 胡名正

封面设计 丁通源

青年自学技术丛书

电 子 琴

原理·使用·维修

汪学礼 汤为杰 编著

上海科学普及出版社出版发行

(上海曹杨路500号)

各地新华书店经销

上海科学普及出版社 太仓印刷分厂印刷

开本787×1092 1/16 印张6 插页3 字数150000

1988年11月 第1版 1988年11月第1次印刷

印数 1-20200

ISBN7-5427-0107-X/TS·2 定价2.40元

内 容 提 要

本书介绍电子琴的原理、使用、选购和维修知识。第一章介绍电子琴有关的声学 and 音乐知识，以及各类电子琴的功能和特点。第二章叙述电子琴的基本结构和原理，以及电子琴各部分的电路组成。第三章为电子琴的选购和使用指南。第四章包括：电子琴常见故障分析，检修方法与步骤，国内名牌产品维修实例等。附录中收集了国内外电子琴主要产品介绍，电子琴专用集成电路资料，电子琴术语英汉对照等。

读者对象：电子琴使用者和维修者，无线电电声技术爱好者。

前 言

电子琴是现代电子技术与音乐相结合的产物，其音色之丰富、音域之宽广、音准之准确、效果之奇妙，丰富与发展了传统乐器。

在我国，已有数百万架电子琴进入文艺团体和普通家庭。许多电子琴使用者、维修者和无线电爱好者迫切希望了解电子琴的原理、电路结构和维修方法。本书的编写正是为了满足社会的需要，介绍电子琴的原理、使用、选购和维修知识。本书对于电子琴设计的学习者也是合适的入门书。

本书两作者在大学任教多年，从70年代初期就开始研究和设计电子琴，是我国研究电子琴的先行者。本书中的部分电路是作者多年来的设计成果。

本书还介绍了荣获“金音奖”的华星 H-863C 型、新建 XJ8620 型和佳莺 B4941 型等名牌电子琴的维修实例，并附有电路图和元件位置图。这三种琴的电路设计先进、合理，在同类型产品中具有代表性。因此，若读者掌握了上述维修方法，对修理其它同类型琴就不会感到困难了。

第四章中“新建牌 XJ8620 型电子琴的维修”由上海无线电二十一厂供稿；“华星牌 H-863A、B、C 型电子琴的维修”由上海华新电子仪器厂供稿；“佳莺牌 B4941 型电子琴的维修”由常州电子仪器厂张纪豪同志供稿；内容切合实际，针对性强，相信将对读者有所裨益。

编写过程中吴国培、宋士芳两同志对本书提出了宝贵意见与建议，我们特此表示感谢。

1988年4月

目 录

第一章 电子琴入门	1
第一节 声学 and 音乐基础知识	1
一、声学知识	1
1. 声音	1
2. 音调	1
3. 音量	1
4. 音色	1
5. 音型	3
二、音乐知识	3
1. 音阶	3
2. 音名	3
3. 十二平均律	3
4. 和弦	6
5. 节奏	7
6. 音准	7
7. 音域	7
第二节 电子琴的种类和功能	7
一、电子琴的特点	7
二、电子琴的种类和功能	8
1. 玩具琴	9
2. 娱乐琴	9
3. 教学琴(练习琴)	10
4. 舞台琴(演奏琴)	11
第二章 电子琴的基本原理	14
第一节 电子琴的基本结构	14
一、电子琴的功能框图	14
二、数字、模拟混合式琴的电路结构框图	15
三、全数字化琴的电路结构框图	15
第二节 电子琴乐音的产生	16
一、音源电路	16
1. 音源振荡电路	16
2. 音阶形成电路	18
二、音色合成滤波电路	20
1. 笛子滤波器	21

2. 提琴滤波器	21
3. 木管乐滤波器	21
4. 铜管乐滤波器	22
5. 钢琴滤波器	23
6. 风琴滤波器	23
三、音型包络电路	23
1. 钢琴包络电路	24
2. 通用包络电路	25
3. 曼陀林包络电路	25
4. 多用包络电路	26
第三节 自动打击乐节奏电路	26
一、打击乐的节奏	26
1. 打击乐器	26
2. 常见乐曲的节奏谱	27
二、节拍振荡器	28
三、节奏发生器	28
四、打击乐模拟电路	30
1. 鼓电路	30
2. 板电路	31
3. 钹电路	31
4. 沙锤电路	31
第四节 自动和弦伴奏电路	32
一、玩具琴的八度和弦电路	32
二、专用集成电路玩具琴的和弦电路	32
三、数字、模拟混合式琴的和弦电路	33
四、全数字化琴的和弦电路	34
第三章 电子琴的选购及使用	35
第一节 电子琴选购指南	35
一、送给幼儿的一件礼物	35
二、初级学习用的玩具琴	35
三、进一步学习用的娱乐琴	36
四、教学用琴与舞台演奏用琴	37
五、电子钢琴	37
第二节 电子琴的使用与保养	37
一、电子琴的使用	37
1. 阅读使用说明书	37
2. 让琴发出声音来	38
3. 把音色变化一下试试	38
4. 自动节奏的使用	38

5. 让低音和弦加到伴奏中来	38
6. 再加入分解和弦(琶音)伴奏	38
7. 附件的使用	39
8. 特殊装置的介绍	39
二、电子琴的日常保养	39
第四章 电子琴的维修	41
第一节 电子琴的维修方法	41
一、功能检查	42
二、目视检查	42
三、万用表检查法	43
1. 电压检查法	43
2. 电阻检查法	43
四、示波器检查法	44
五、替代检查法及信号寻迹法	44
第二节 电子琴维修实例	45
一、新建牌XJ8620型电子琴的维修	45
1. 功能简介	45
2. 结构与电原理图	46
3. 工作原理简介	47
4. 一般故障分析	48
5. 故障排除举例	55
二、华星牌H-863A、B、C型电子琴的维修	55
1. 电源部分的常见故障及维修	55
2. 节奏部分的常见故障及维修	56
3. 音阶部分的常见故障及维修	57
4. 音色部分的常见故障及维修	59
5. 和弦部分的常见故障及维修	60
三、佳莺牌B4941型多功能电子琴的维修	60
1. 性能简介	60
2. 工作原理	60
3. 维修	64
4. 故障排除举例	65
[附录一] 常见电子琴一览表	67
一、玩具型电子琴	67
二、娱乐型电子琴	68
三、教学型电子琴	69
四、舞台型电子琴	69
五、电子钢琴	70
[附录二] 常用电子琴专用集成电路一览表	70

一、音源集成电路.....	70
二、节奏集成电路.....	71
三、包络集成电路.....	71
四、乐音发生集成电路.....	71
五、信息控制集成电路.....	72
〔附录三〕常用电子琴专用集成电路引脚功能.....	73
一、音源集成电路.....	73
二、节奏集成电路.....	77
三、包络集成电路.....	80
四、乐音发生集成电路.....	81
五、信息控制集成电路.....	83
〔附录四〕常用电子琴术语表.....	84
一、音色.....	84
二、效果.....	85
三、节奏.....	85
四、和弦.....	86
五、控制.....	86
六、键盘.....	87

第一章 电子琴入门

第一节 声学和音乐基础知识

一、声学知识

1. 声音

小虫唧唧，流水淙淙，机器轰鸣，乐曲悠扬，都是由物体振动而产生的。正在发出声音的物体叫做声源。声源的振动发出声波。声波传到入耳，由听觉器官感受到声音。物体振动发出的声音有两种，有规律的振动发出乐音，无规律的振动产生噪音。

人耳听觉的频率范围约为每秒20次到2万次，即20赫到20千赫。人对中音区(400赫到4千赫)的分辨和感觉能力最强。

乐音的主要属性有：音调、音量、音色和音型等。

2. 音调

声音的高低叫做音调(又叫音高)。音调的高低取决于声波的频率，频率高则音调高，频率低则音调低。

3. 音量

声音的强弱程度叫做音量(又叫响度)。音量跟声源的振动幅度大小直接有关。振幅大，音量就大；振幅小，音量就小。

4. 音色

物体的振动有简单和复杂的分别。做简单振动的物体发出的声音，听起来非常单一，叫做纯音。但能发纯音的物体不多。通常物体的振动都比较复杂，它所发出的声音由各种频率和振幅不同的纯音混合而成，叫做复合音。传统乐器的吹奏声、人的歌唱声等都是复合音。

在复合音中，总是存在着一个频率最低的纯音，叫做基音；其它的纯音叫做谐音(又叫泛音)。谐音的频率等于基音的整数倍，如二次谐音的频率为基音的二倍，五次谐音的频率为基音的五倍。每个复合音都是由一个基音和若干个谐音组成；从声波的角度讲，每个非正弦振荡的声波都是由一个基波和若干个谐波合成的。基波的周期与该声波的最长振荡周期相等。基波产生基音，谐波发出谐音。

两个复合音，如果它们的基音频率相同，听起来音调就相同，但是它们都还包含许多谐音，不但谐音的数量多少不同，而且各谐音的频率和振幅大小也不一样。比如频率都是100赫的钢琴和黑管声，它们的基音频率都是100赫，但是组成钢琴声的有15个谐音，组成黑管声的只有9个谐音，这些谐音的频率和振幅又各不相同，因此我们很容易把这两个声音分辨出来。

这种由于组成复合音的谐音数目、频率和振幅各不相同，而使复合音听起来各有特色的属性，叫做音色(又叫音品)。

音色除了由人耳听觉来判别外，还可以用仪器来区分。采用示波器观察波形是最常用

的方法，图 1·1·1(a)、(b)表示示波器观察到的波形图，其中(a)是只有单一频率的纯音，(b)为非正弦振荡的复合音。图1·1·1(c)、(d)分别是纯音(图 1·1·1(a))及复合音(图 1·1·1(b))的谐波分解图。由图可知，纯音只有基波(f_0)，没有谐波；复合音有幅度不同的各次谐波。(c)、(d)中的 $2f_0$ 为二次谐波， $3f_0$ 为三次谐波，其余类推。(b)复合音波形即由(d)的各次谐波幅度相加而得到的。波形相同的复合音的谐波成分相同，听起来音色也

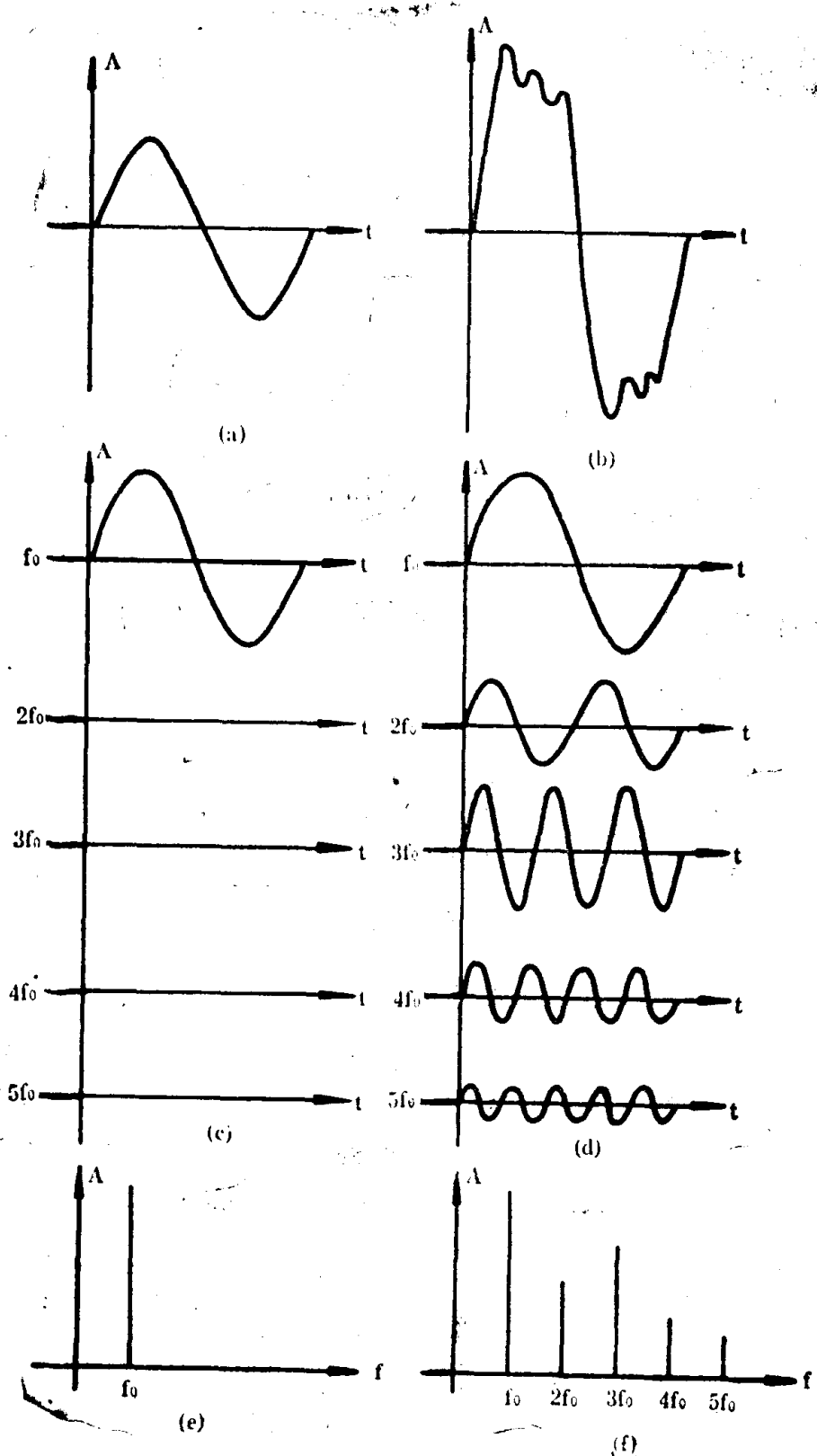


图 1·1·1 波形与频谱图

相同,因此在电子琴生产及修理过程中常用示波器观察、比较波形来判断琴的音色正确与否。然而,由于相同幅度的各次谐波在相位不同的情况下相加,合成的复合波形可能不同,但是各种不同复合波形的声波的音色都相同。因此不同品种与线路的电子琴,可能会听上去音色相同,而示波器观察到的波形却不同。故示波器观察波形的方法不能用于不同品种琴的音色对照。采用频谱分析仪显示的频谱图就没有这个缺点,图1·1·1(e)、(f)即频谱图,谱线在横轴上的位置代表基波和各次谐波的频率,谱线的高度代表基波和各次谐波的幅度,纯音的谱线只有一条基波,复合音的谱线有基波和各次谐波许多条。由于频谱图不受相位的影响,故它与音色能完全一一对应,是分析音色的重要手段。

5. 音型

音型是指乐音在演奏过程中发音强弱的变化形式。例如钢琴的发音是突然增强,随后逐渐衰减,这是弹奏音型;笛子的发音是持续起伏,变化缓慢,此为吹奏音型。从声音的波形来看,音型取决于声波幅度的变化形状,即包络的形状,故又叫音形。

通常音型可分成以下几类:

(1) 连续音型:模拟弦乐、风琴等乐器演奏的持续音响,幅度无变化,波形如图1·1·2(a)。

(2) 弹奏音型:模拟钢琴、吉它等音响,其特点是开头急速增大,并按指数规律衰减,结尾渐弱,波形如图1·1·2(b)。

(3) 拨奏音型:模拟曼陀林、琵琶等音响,其前沿较陡,迅速衰减至最小,波形如图1·1·2(c)。

(4) 吹奏音型:模拟圆号、长笛等音响,其声音渐强,中间起伏抖动,结尾渐弱,波形如图1·1·2(d)。

(5) 滑弹音型:幅度和频率同时发生变化,频率由高向低渐变,叫下滑音;反之叫上滑音,图1·1·2(e)是吉它的滑弹音形。

(6) 打击音型:鼓、板、钹等打击乐器,其音响突然增到最大,急速衰减至零,呈间歇特性,波形如图1·1·2(f)。

二、音乐知识

1. 音阶

在音乐中使用的,有固定音高的音的总和,叫做乐音体系。乐音体系中的音,按照音高的次序排列起来,叫做音阶。一般钢琴的音阶有85或88个音。

2. 音名

乐音体系中有七个独立名称的基本音(钢琴上白键所发出的音),分别用英文字母C、D、E、F、G、A、B来标记,称为音名。它表示一定的音高,在键盘上的位置是固定不变的。其它音(钢琴黑键所发出的音)另加升、降记号。

在歌唱时,通常用do、re、mi、fa、sol、la、si来发音,称为唱名。它们另加升、降记号时唱名不变。唱名在键盘上的位置随调性改变。

七个基本音在音阶中是循环重复的,第一个音和第八个音,它们的音名相同,但是音高不同,构成了八度的关系,又称八度音程(音程指两音间的距离)。由于音名在音阶中重复出现,因此将音阶区分为各音组,分别以大字组、小字组、小字一组等名称来区别。

图1·1·4给出了标准钢琴键盘的音阶排列图。

3. 十二平均律

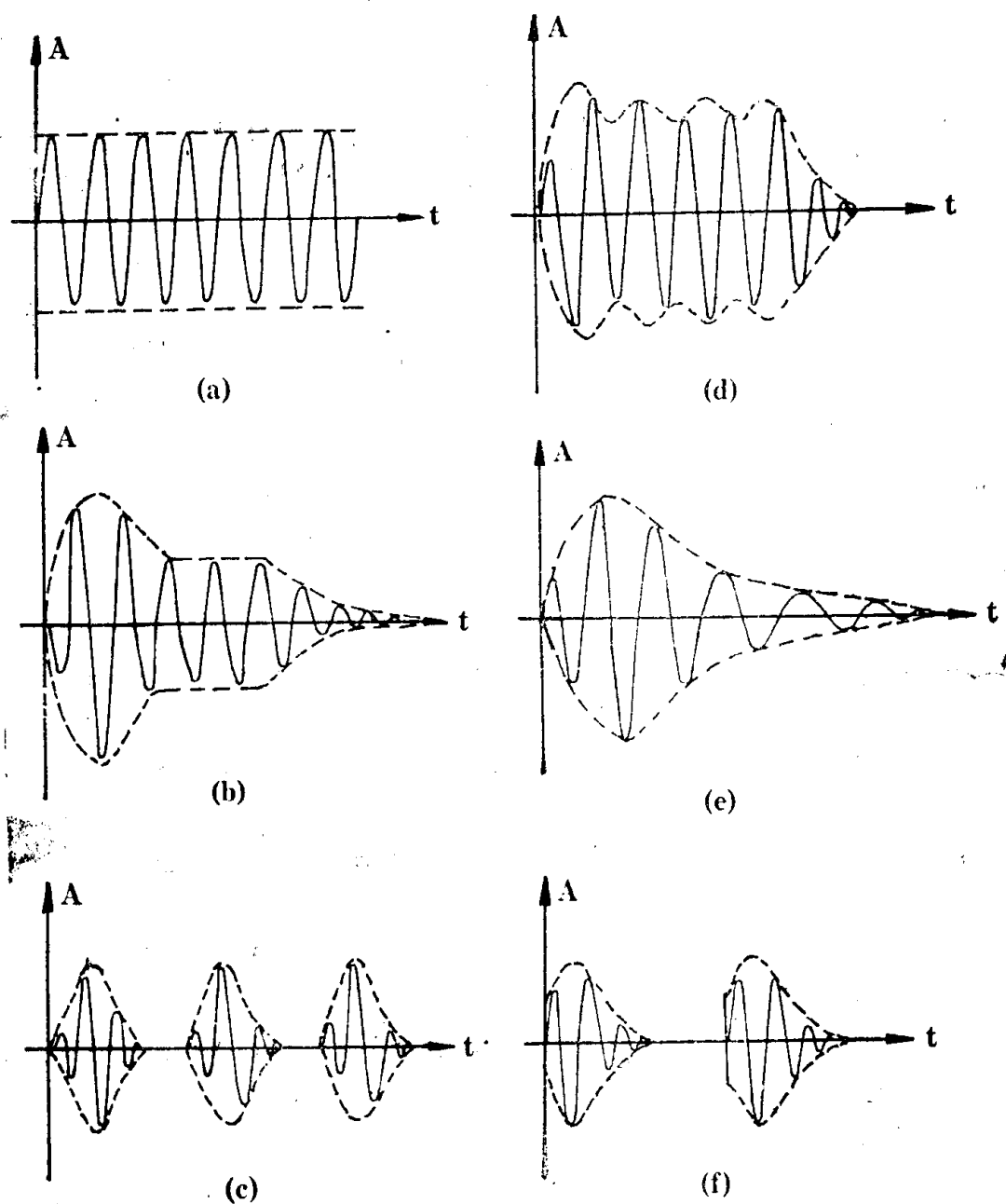


图 1 · 1 · 2 音型包络图

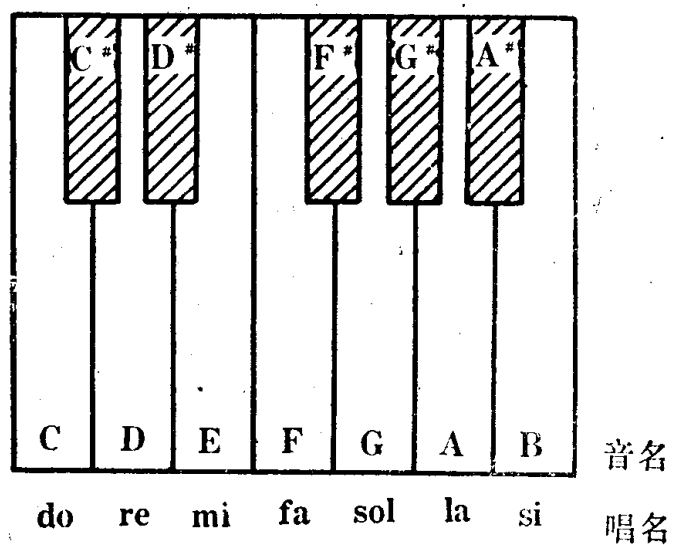


图1 1·3 钢琴键盘的音名和唱名

为了乐曲演奏的需要，将每个音组包含的八度音程，再按平均音高分成十二个音，亦即十二个音阶(半音音程)，在音乐上称为十二平均律。目前，国际上各种乐器的音阶大都是以十二平均律来标定的，通过五线谱或简谱，作为作曲家和演奏家之间联系的语言。

下一个八度音程的频率刚好是前面的两倍，而相邻两个半音之间呈现 $\sqrt[12]{2}$ 倍 ($\sqrt[12]{2} \doteq 1.05946$) 的关系。

例如：中央C即 c_1 (do) 的频率为261.6 赫，而 d_1 (re) 比它高 2 个半音，所以 d_1 的频率为 $261.6 \times (1.05946)^2$ ，约为293.7赫。同理可求出其它频率如下：

$$c_1(\text{do}) = 261.6$$

$$d_1(\text{re}) = 261.6 \times (1.05946)^2 = 293.7$$

$$e_1(\text{mi}) = 293.7 \times (1.05946)^2 = 329.6$$

$$f_1(\text{fa}) = 329.6 \times 1.05946 = 349.2$$

$$g_1(\text{so}) = 349.2 \times (1.05946)^2 = 392.0$$

$$a_1(\text{la}) = 392 \times (1.05946)^2 = 440.0$$

$$b_1(\text{si}) = 440 \times (1.05946)^2 = 493.9$$

$$c_2(\text{do}) = 493.9 \times 1.05946 = 523.3$$

其上、下八度音程的频率分别是上述频率的二分之一倍、二倍。这样便可得十二平均律键盘乐器各音阶的频率值，如图 1·1·5 所示。

4. 和弦

演奏中常用的两个以上乐音同时发声的音响组合形式称为和声或和弦。

毫无疑问，两个相差八度，频率相差一倍的音是最和谐的音组，这常称为八度和弦。两个相差五度的音(do—sol)所形成的和声不像八度那样和谐，但仍有混然一体的感觉，也是和谐音组。大三度(do—mi)和小三度(mi—sol)所形成的和声，一听就有两音独立作响的感觉，但并不刺耳，称为半和谐音组。且大三度和弦给人一种向前、有力、稳定、康庄的感觉；而小三度和弦则形成一种悠扬、深情、忧伤、哀怨的气氛。至于大二度(do—re)和小二度(mi—fa)所形成的和声，听起来粗钝、尖锐、不和谐，称为不和谐音组，常表现矛盾、意外、阴险、残忍等特殊艺术意境。

和弦不限于两个音，通常用三个音或四个

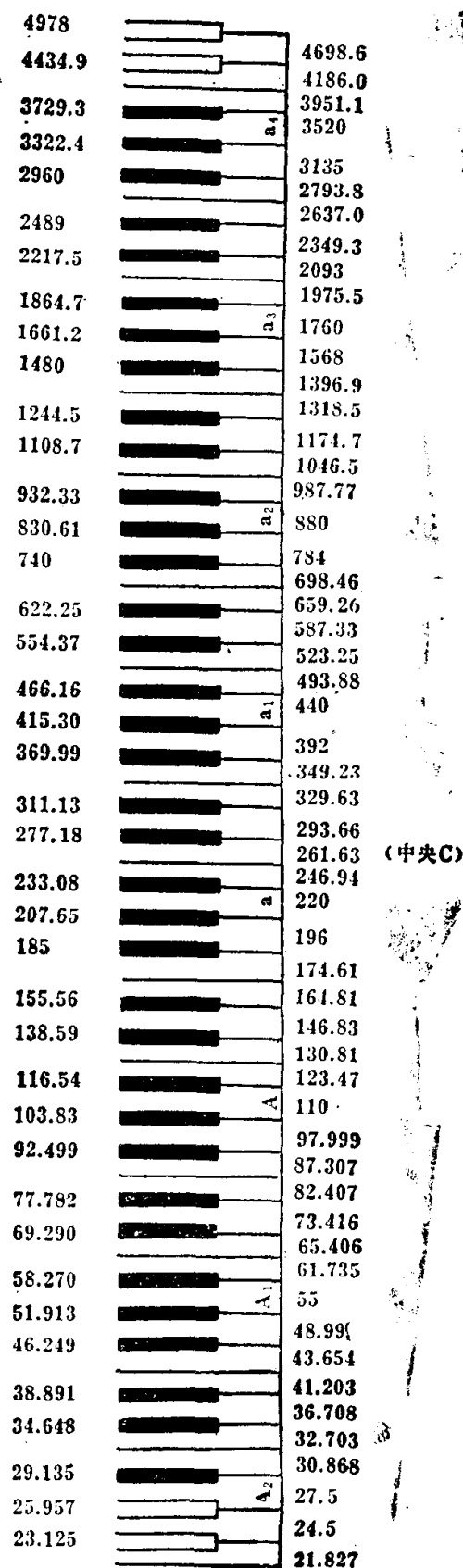


图 1·1·5 音阶频率图

音组成，构成许多不同的和弦形式。在电子琴中经常采用三种和弦形式，它们是大和弦(大三和弦)，由各种调式的 do—mi—sol 三个音成，具备上述大三度和弦特征；小和弦(小三和弦)，由各种调式的 re—fa—la 三个音组成，具备上述小三度和弦特征；属七和弦，由各种调式的 do—mi—sol—la^{*} 四个音组成，具备适当的不和谐感，达到特殊艺术效果。

当几个有和弦关系的音不是同时出现，而是以不同音高先后交替出现时，就叫做分解和弦(琶音)。

例如大三和弦 1、3、5 的分解和弦可有下面的各种形式：
 $\underline{\dot{1} \ 3 \ 5 \ \dot{1}} \quad \underline{3 \ 5 \ \dot{1} \ 3}$
 $\underline{\dot{5} \ 3 \ \dot{1} \ 5} \quad \underline{3 \ \dot{1} \ 5 \ 3} \parallel \underline{\dot{1} \ 5 \ 3 \ \dot{1}} \quad \underline{5 \ 3 \ \dot{1} \ \dot{1}} \quad \underline{3 \ 5 \ \dot{1} \ 3} \quad \underline{5 \ \dot{1} \ 3 \ 5} \parallel$ 等。同样小三和弦
 6、1、3 的分解和弦可为：
 $\underline{6 \ 1 \ 3 \ 6} \quad \underline{1 \ 3 \ 6 \ \dot{1}} \quad \underline{3 \ \dot{1} \ 6 \ 3 \ \dot{1} \ 6 \ 3 \ 1} \parallel \underline{6 \ 3 \ 1 \ 6}$
 $\underline{3 \ \dot{1} \ 6 \ 3} \quad \underline{6 \ \dot{1} \ 3 \ 6} \quad \underline{\dot{1} \ 3 \ 6 \ 1} \parallel$ 等。

分解和弦就像一个饶有风趣的副旋律在配合主旋律进行，给演奏增添了优美多变的音乐气氛。

5. 节奏

将长短相同或不同的音，按一定的规律组织起来，叫做节奏。节拍是乐曲节奏的时间单元。为了突出体现音乐的节奏规律，需要用音响来加强它，这就是在乐曲中加入打击乐音响的原因。

人们把听觉最敏锐、分辨率最高的中音区，用作音乐的主旋律和演唱，而把确定节奏的打击乐音响或加有伴奏的音响，放在低音和高音区，这样既不致于“喧宾夺主”，又使听觉范围全部被乐音所占满，给人以宽广的刺激，使人们的感受更为强烈。

6. 音准

音的频率准确度，称为音准。在中音区人耳可以直观地分辨出两个音阶中千分之五的频率差别。为了精确地衡量音准，把半音程再细分为100个音分，一个八度音程分为1200个音分。通常要求音准做到3~5音分之内。否则演奏时就会跑调，和弦就会出现抖动，破坏音乐效果。

7. 音域

乐音中的基音的频率范围称音域。电子乐器的音域可以人为地设计成任意宽度，高级电子琴的音域，可以占满人的全部听觉范围。

第二节 电子琴的种类和功能

一、电子琴的特点

传统乐器的发音部分，都是采用机械振动体来担任的，而电子琴的发音源采用的是电子振荡器。由于摆脱了机械振体的种种限制，使得无论在音色、音准和音域等方面都具备更多特点。

从音准方面说，使用一个高稳定的石英晶体振荡器作发音源，用数字分频技术得到所有的音阶，可具有比任何传统乐器精度为高的音准和稳定性。

从音色来说,电子振荡器本身可以产生正弦波、三角波、方波、锯齿波、不对称方波等多种波形,通过电子合成器,还能组合成更加复杂的波形。此外通过电子滤波器和包络发生器,可以进一步处理音型和音色。电子琴能逼真地模仿许多听起来截然不同的传统乐器的音色。它也可模仿自然界中一些声音,如男声、女声、鸟声、蛙音、风雨声、水泡音等。它还可以发出自然界中没有的、幻想中的奇特音响,如火箭升天、太空遨游、鬼域仙境之类,极大地丰富人们的艺术享受。

从音域上肴,由次声频(20赫以下)到超声频(20千赫以上)的整个频率范围,电子琴都能轻易办到。

从音量上说,只要采用足够的功率放大器,要多大就能有多大的音量。这些都是传统乐器无可比拟的。

此外,电子琴通过控制按钮,实现多种自动伴奏,除了自动打击乐节奏外,还可进行自动和弦伴奏、自动分解和弦及自动低音伴奏,大大加强了伴奏的音乐性。这样同时有多个声部参与演奏,听起来很象一个小型的轻音乐队在合奏。任何传统乐器自然无法和它相比了。

二、电子琴的种类和功能

依据电路结构和功能,键盘式电子琴(依据中华人民共和国国家标准(草案)电子琴产品的等级(第一稿))可分成玩具型、娱乐型、教学型和舞台型四个等级。其性能比较见表1·2·1。

表1·2·1 电子琴的种类

分 类	玩 具 型	娱 乐 型	教 学 型	舞 台 型
功 能				
键 盘	S(小型键) C(超小型键)	Z(中型键) S、B	B(标准键)	B
外 形	卡 片 式 台式(便携式)	台 式	立式(落地式)	立 式
音 域 (键 数)	≥ 22	≥ 49	≥ 61	$\geq 2 \times 49 + 13$
音 准 (音 分)	$\leq \pm 20$	$\leq \pm 5$	$\leq \pm 5$	$\leq \pm 3$
音 色	能发乐音	接近传统乐器	模拟传统乐 器逼真	模拟逼真,没 有音响合成器
功 能	单音、自动 节奏	复音,自动节奏, 自动和弦伴奏	复音,自动节奏, 自动分解和弦等	复音,变节奏, 自编和弦伴奏, 足控伴奏
功 率 (瓦)	≥ 0.25	≥ 2	≥ 5	≥ 15
信 噪 比 (分贝)	> 40	> 50	> 60	> 60
使 用 对 象	少年, 儿童	小学, 幼儿 园, 家庭	中学, 业余文艺 团体, 家庭	专业文艺团体, 大型歌舞团
参 考 价	百 元	数 百 元	千 元	万 元