

电子琴

原理、使用与维修

刘启武 刘启文 编著

电子工业出版社



TN 910
L31
248061

电子琴原理、使用与维修

刘启武 刘启文 编著



电子工业出版社

内 容 简 介

本书以具体、实用为原则，系统地阐述了电子琴和电子光琴的原理、实用电路及制作工艺。对典型的电子琴电路结构做了剖析，并列举了应用实例。

书中第一章至第七章，分别介绍了电子琴的音源电路、信号润色电路、专用集成电路、自动演奏器、放大器和电源，还给出了一些实用电子琴电路。第八章阐述了彩色音乐和电子光琴的原理、制作和应用实例。后几章分别介绍了电子琴的演奏、组合、使用技巧以及调试、维修方面的内容。第十一章通俗地介绍了电子琴性能的评价方法，以指导选购。

本书读者对象为电子琴设计、生产、维修人员、电声工作者、电子科技人员、音乐工作者、电子音乐爱好者、电子琴使用者和有关大中专院校师生。



电子琴原理、使用与维修

刘启武、刘启文、编著

责任编辑 王昌喜

*

电子工业出版社出版 (北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经售

中国科学院印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18 插页: 8 字数: 416 千字

1991 年 1 月第 1 版 1991 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1—12000 册 定价: 8.00 元

ISBN 7-5053-1210-3/TN·360

前 言

在现代社会中,音乐已成为人们精神生活的重要部分。电子音乐随着时代的步伐,闯入了当今世界的音乐圣殿,深为广大群众所喜爱。

随着电子技术的发展,特别是电子计算机技术的进步,为电子乐器的萌生、发展,开辟了广阔的道路。电子琴是音乐和电子技术相结合的产物,现代电子琴实质上是音乐专用的微型电子计算机。

由于人们对精神文明的追求,广大无线电爱好者、电声技术人员、音乐工作者和爱好电子音乐的青少年,都渴望掌握电子音乐知识和演奏技巧;专业技术人员、有关院校师生对电子琴和彩色音乐有浓厚的兴趣,也有扩大知识视野从事实践的愿望;电器维修人员,急待得到这方面的经验与资料;众多的爱好者迷恋于业余制作,盼望得到一本有实用价值的技术指导书。本书正是为了满足读者这些需要而编写的。

本着实用的原则,书中系统地阐述了电子琴的原理、专用集成电路的应用、电子琴实用电路、使用方法、演奏技巧、舞台应用和维修方面的知识,特别是作者结合多年从事电子音乐技术工作的经验,编写本书,很多内容是实践的总结。

书中叙述了彩色音乐和彩色光琴的原理、制作工艺和应用实例,为满足人们的精神享受,提供了新的手段。

在本书编著过程中,毅赫副教授、马全英讲师给予了大力支持;刘思聪、刘松涛、包海燕、张玉霞和杨玉坤同志在编校工作中,给予了可贵的帮助,杨星豪同志对本书作了最后审校和定稿工作,在此一并致谢。

由于我们的水平所限,书中的缺点错误在所难免,请广大读者指正。

作 者

1990年2月

目 录

第一章 电子琴的基本知识	1
第一节 电子琴的特点与功能	1
一、电子乐器的特点	1
二、电子琴的缺陷	2
第二节 电子琴的基本知识	3
一、键盘音阶排列的规律	3
二、音阶和音分	4
三、音准	4
四、音质	6
第三节 现代音乐的频谱特点	8
第四节 电子琴的简要工作原理	9
第二章 电子琴的键盘与音源电路	11
第一节 键盘电路	11
一、对键盘的要求	11
二、键盘的分类	12
三、键盘电路	12
第二节 音源电路	15
一、音源电路概述	15
二、简单音源电路	16
三、音阶分频器	21
第三节 M 082 集成音律发生器	25
第四节 现代电子琴音源电路	27
第五节 卡西欧电子琴键盘与音源电路	29
一、卡西欧电子琴键盘与电路	29
二、卡西欧电子琴音源电路	35
第三章 旋律信号的润色与加工	41
第一节 音色基本概念	41
第二节 音色的分解、合成与加工	42
一、音色的分解与合成	42
二、音色滤波单元电路	42
三、数字化音色模拟方法	44
第三节 实用音色模拟电路	45
一、弦乐滤波器	45
二、中提琴滤波器	45
三、古钢琴滤波器	45
四、短笛音色滤波器	46

五、中音笛音色滤波器	46
六、长笛音色滤波器	47
七、双簧管音色滤波器	47
八、单簧管音色滤波器	48
九、小号音色滤波器	48
十、长号、大管音色滤波器	49
十一、圆号音色滤波器	51
十二、萨克管音色滤波器	51
十三、铜管乐音色滤波器	51
十四、几点说明	52
第四节 音色信号的混合处理	52
第五节 各种音型的产生与润色方法	53
一、弹奏音形成电路	53
二、直奏音型	57
三、特殊音型	57
四、混合音型	57
五、音头与音尾的处理	57
第六节 颤抖音发生器	59
一、颤音的调制方式与电路	59
二、抖动音发生器	60
第七节 特殊音响发生器	61
一、哇音发生器电路	61
二、琵琶音响发生器	63
三、“丢、丢”音响发生器	63
四、电子回旋音响发生器	65
第四章 电子琴专用集成电路	67
第一节 简易电子琴集成电路	67
一、UM 3526 (CW 93521) 电子琴电路	67
二、UM 3546 (CW 93511) 电子琴电路	68
三、CW 93520 电子琴电路	68
第二节 LDQ 852 电子琴集成电路	69
一、主要性能	69
二、工作原理	71
三、调试	71
第三节 LM 6402 微电脑电子琴集成电路	71
第四节 MP 1363 (SF 8501-01) 电脑电子琴集成电路	72
一、主要功能	72
二、典型应用电路	73
第五节 M 208 单片电子琴集成电路	74
一、主要技术性能	75
二、外引端排列及功能	75
三、工作模式选择	76

四、信号输出与处理	77
五、单片 M 208 典型应用方法	78
第六节 专用电子琴微处理器	79
一、M 112 单片微处理器	79
二、TMP 4740 微处理器	81
三、YM 2163 数字音色形成电路	81
四、具有节拍功能的单片微机 lsi tms 3630 ns	82
五、YAMAHA 超大规模音源集成电路 SC-MC-3	85
六、高档电子琴专用集成电路	86
第七节 卡西欧电子琴专用集成电路	87
一、伴奏大规模集成电路 μ PD 930 G	87
二、旋律大规模集成电路 μ PD 931 C	87
三、中央处理机 HD 61702 A 03	88
四、打击乐发生器 MSM 6294-02	90
第五章 自动打击乐与自动低音和弦伴奏器	94
第一节 概述	94
第二节 打击乐音响模拟电路	95
一、鼓音频谱组成	95
二、鼓、板音模拟电路原理	95
三、双 T 桥式鼓、板音模拟电路	97
四、RC 移相式鼓音形成器	99
五、板、铃和三角铁音电路	100
六、白噪声发生器	101
七、钹和沙锤音响形成电路	102
八、低音鼓响弦	103
九、集成电路打击乐音响模拟电路	104
第三节 自动节奏发生器	106
一、JQ 5 型自动打击乐电路	106
二、LN 8705 伴奏音发生器及其典型应用	109
三、BH-DJ 2 自动节奏发生器	110
第四节 自动打击乐演奏器	111
一、简易集成自动打击乐电路	111
二、采用 PMOS 电路的电子打击乐器	112
三、ZDM 自动打击乐演奏器	114
四、采用大规模集成电路 M 259 的自动打击乐电路	116
第五节 自动低音和弦伴奏与自动琶音	117
一、功能综述	117
二、ZDF-II 自动低音和弦与琶音电路	118
第六章 典型电子琴电路	121
第一节 初级电子琴	121
一、集成电路玩具单音电子琴	121
二、TQ 403·1 型收音机电子琴	123

三、简易电脑电子琴.....	124
四、电子校音器.....	124
五、兰陵牌 TQ 871 型双声道电子琴.....	128
第二节 多功能复音电子琴.....	129
一、JQ 5 F 型多功能立体声落地式电子琴.....	129
二、TQ 1 型多功能便携式电子琴	133
第三节 电脑多功能电子琴.....	136
一、华立 HLZ-4975 电脑多功能电子琴	138
二、KDD49-08 电脑电子琴.....	141
三、康德 (CONTACT) KD-49B 型电脑式多功能电子琴	144
四、雅马哈 (YAMAHA) PSR-40 型电子琴.....	146
第四节 高级电子琴.....	147
第五节 卡西欧系列电子琴.....	148
一、卡西欧 CT-310、MT 65/68 型电子琴.....	148
二、卡西欧 CT-360 型电子琴	150
三、数/模转换器 (DAC).....	152
四、取样/保持电路	152
五、滤波器与音色形成电路.....	153
六、低音和弦与琶音伴奏电路.....	156
七、打击乐音响电路.....	160
八、时钟脉冲发生器.....	160
九、辅助电路.....	161
十、音色综合形成电路.....	166
第七章 电子琴的放大器与电源	169
第一节 放大器与电源概述.....	169
一、电子琴放大器.....	169
二、电子琴电源.....	170
第二节 常用电子琴放大器.....	170
一、玩具电子琴放大器.....	170
二、简易电子琴放大器.....	170
三、便携琴放大器.....	170
四、10W 优质功率放大器	171
五、18W 高质量电子琴放大器	172
六、双声道 650 mW 功率放大器	172
七、4.2W 双声道立体声放大器	174
八、15W×2 双声道功率放大器.....	175
九、大功率音频放大器电路.....	176
第三节 电子琴电源电路.....	177
一、简单的稳压电源.....	177
二、集成稳压电源.....	178
三、大电流直流稳压电源.....	179
第四节 卡西欧电子琴的放大器与电源.....	179

一、MT 65/68 型电子琴放大器与电源	179
二、CT-310 电子琴放大器与电源	180
三、CT-360 电子琴放大器与电源	181
第八章 彩色音乐和彩色光琴	184
第一节 彩色音乐和彩色光琴的由来	184
一、什么是彩色音乐和彩色光琴	184
二、彩色音乐的由来	184
三、彩色音乐装置和用途	184
第二节 国内外彩色音乐应用概况	185
一、国外彩色音乐应用概况	185
二、国内彩色音乐发展概况	186
第三节 彩色音乐装置的构成及应用	186
一、彩色音乐装置的原理和电路	186
二、组件的单元电路	187
三、工艺要求及装配	189
四、调试	190
五、多通道彩色显示装置	190
六、三背景彩色音乐装置	192
七、音乐彩色显示装置的安装使用	193
第四节 彩色音乐与电子音乐	194
一、电子琴与彩色音乐配合的效果	194
二、彩色音乐装置与电子琴联接使用	194
三、彩色音乐投射装置的使用	197
第五节 彩色光琴	197
一、彩色光琴的基本原理	198
二、彩色光琴的组成	198
三、电路及结构	199
四、工作过程	201
五、工艺要求	202
六、调试	203
七、彩色光琴的使用	204
第九章 电子琴的演奏和组台	205
第一节 电子琴独奏和单独伴奏	205
一、听众的欣赏心理	205
二、电子琴独奏	205
三、便携式电子琴独奏	206
四、电子琴伴奏	207
五、电子琴伴奏和编曲的规则	209
第二节 电子琴在乐队中的作用	209
一、电子琴在常规乐队中的地位	209
二、乐队声部结构的组成	210
三、电子琴在常规乐队中的协调问题	210

第三节 电子琴在乐队中的组合·····	212
一、电子琴在常规乐队中的组合原则·····	212
二、对演唱者和乐队素质的要求·····	213
三、电子琴的组合方式·····	214
四、电子琴参加乐队演奏的编组·····	215
五、电子琴加入小型管弦乐队演奏·····	216
六、电子琴与管弦乐队的配伍·····	217
七、电子琴加入吹奏乐队·····	218
第四节 电子琴的扩声技术·····	218
一、电子琴使用收录机扩声·····	218
二、使用收录机和无线话筒扩声·····	219
三、使用扩音机扩声·····	220
第五节 录音伴奏·····	221
一、录音方法·····	221
二、录音伴奏方法·····	222
第六节 电子琴的编曲和演奏·····	224
一、编曲与演奏技巧的关系·····	224
二、编曲的标注方法·····	224
三、电子琴的性能示例·····	225
四、音栓与呎率·····	226
第七节 电子琴独奏技巧·····	228
一、独奏的要点·····	228
二、独奏的操作·····	228
三、独奏盘的演奏方法·····	229
四、独奏的技术规范·····	229
五、自动功能的使用·····	230
六、足键的演奏·····	230
七、人体功能的协调·····	230
第十章 电子琴的使用、调整和维修 ·····	232
第一节 电子琴的使用·····	232
一、使用须知·····	232
二、演奏须知·····	232
三、注意事项·····	233
四、音色的使用·····	234
五、音响配用常识·····	235
第二节 电子琴的调整和测试·····	235
一、调试需用的仪器设备·····	235
二、主振荡器的调试·····	236
三、分频器的调试·····	236
四、失真度的测试·····	238
五、电源电压对音准的影响和测试·····	239

第三节 电子琴的维修·····	240
一、电子琴的老化和检测·····	240
二、电子琴常见故障及检修·····	241
第四节 卡西欧系列电子琴的调整与故障排除·····	247
一、“位”补偿与调整·····	247
二、打击乐调整·····	247
三、时钟脉冲振荡器调整·····	247
四、常见故障的检查与排除·····	249
五、电源的故障与排除·····	249
第十一章 电子琴的选购与评价 ·····	252
第一节 选型的原则·····	252
一、实用性和经济性·····	252
二、性能价格比·····	252
第二节 旋律音响的评价·····	253
一、音域·····	253
二、音准·····	253
三、音色·····	254
第三节 自动演奏功能的评价·····	256
一、打击乐音响·····	256
二、自动打击乐演奏功能·····	257
三、低音和弦伴奏功能·····	260
第四节 音响润色功能的评价·····	261
一、音响的润色·····	261
二、回响音·····	262
第五节 附属功能和结构的评价·····	262
一、记忆功能·····	262
二、噪声抑制功能·····	263
三、独奏键盘和感情踏板·····	263
四、对各种控制键钮的要求·····	263
五、整体功能·····	264
附 录 ·····	265
附录 1 电子琴主要组成部分的名称与作用一览表·····	265
附录 2 电子琴预置音色一览表·····	266
附录 3 电子琴添加音响一览表·····	266
附录 4 电子琴自动节奏一览表·····	267
附录 5 常用音响集成电路主要性能表·····	267
一、单通道·····	267
二、双通道·····	269
附录 6 集成稳压电源型号对照表·····	270
附录 7 部分进口电子琴主要性能表·····	271
附录 8 英中电子音乐词汇对照表·····	273

附 图

- 附图 1 图 2-24 卡西欧 MT65/68 电子琴音源电路
- 附图 2 图 2-25 卡西欧 CT-310 电子琴音源电路
- 附图 3 图 2-26 卡西欧 CT-360 电子琴音源电路
- 附图 4 图 6-7 蓝陵牌 TQ871 型电子琴电原理图
- 附图 5 图 6-8 JQ5F 电子琴音源音色电路
- 附图 6 图 6-13 YLF 音源与音色滤波器
- 附图 7 图 6-20 KD-49 型电脑电子琴电原理图
- 附图 8 图 7-19 卡西欧 CT-360 电子琴放大器与电源电路

第一章 电子琴的基本知识

第一节 电子琴的特点与功能

一、电子乐器的特点

电子乐器的特点是相对传统乐器而言的。

1. 音源的特点

传统乐器是借助于物体振动、空腔谐振等手段发声。例如,弦乐器靠拨弦、拉弦或击弦使之振动,激励共鸣腔体发声;管乐器则靠激励谐振腔体的空气发声;各种打击乐器是激励物体振动发声。风琴的簧片则是振动阀门,周期地释放压缩空气发声。所有传统乐器的音源都可归结为机械振动。

电子乐器的音源是借助于电子振荡电路产生电信号,由扬声器发声的。现代电子琴的音源,不仅是产生十二平均律的旋律乐音,而且还产生包括低音和弦、打击音乐、特殊效果音在内的伴奏音。电子琴通过振荡、分频、模拟、合成、放大等技术手段,制造出各种乐音和噪声,成为综合信号源,发出的音响是丰富多彩的。

传统乐器是单一性音源,电子琴是复合音源,它们的发声原理有本质的不同。传统乐器,如小提琴、长笛等,本身就是一个声源;而电子琴多种音响的重发都由扬声器担任。

2. 电子琴音响的特殊性

人们听到各种传统乐器的音响都会觉得“似曾相识”,这是因为人们在生活中听到和记忆的音响,远比乐器音响丰富得多。换言之,由机械振动产生的传统乐器音响的频谱对人们来说并不陌生。

然而,电子音响是创造出的音响,是富有特色的合成的声音。电子乐器的某些频谱,在人们对自然声响记忆的“数据库”中是空白的。因此,人耳对电子乐器的音响感到很独特、新奇。在乐队里那怕有不强的电子琴音响,人们也能区分出来。

3. 音色丰富

电子琴是现代电子技术与音乐艺术相结合的产物。它的音色和音响效果决定于电子技术手段。传统乐器只能发出单一的有特色的音响,电子琴则可以制造出多种音色的音响。一部性能良好的电子琴,具有十几种到几十种管弦乐器的模拟音色,相当于一个阵容不小的乐队。

音色是由谐波成分和各次谐波相对于基波的比例所决定的。电子琴使用各种滤波器改变音响信号谐波的幅度,从而变化音色。实践证明,谐波相位对音色影响不大,换言之,人耳对谐波相位的变化不敏感。

电子琴使用频谱滤波、频率合成技术、音型变换技术和音响润色手段,既能产生隽秀、华丽、有光泽的音响,也能制造出深沉、磅礴、有气势的声音。这一方面远远地超过了传统乐器。

4. 音域宽阔

电子琴音响具有很宽的频谱,可以将听觉的全部音域覆盖。电子打击乐频谱比常规打击乐要宽,因此,可以根据不同档级的要求,制造出音域不同的电子琴。性能好的电子琴,既能发出浑厚的低音鼓及贝司音响,又能发出纤细的高音乐器音响,并具有鲜明的层次。

5. 演奏功能灵活多样

电子琴通过电切换装置,可以奏出吹、拉、弹、拨、打击、哼唱等多种音响。一台高级电子琴具有几十种演奏功能。这些功能相互搭配,可以派生出更多的音响,能够奏出乐队的音响效果。

现代的电子合成器可以说是音响的仓库,可以随时取出或加工出各种音响,包括自然界中不曾有过的声音。

6. 音响动态范围大

电子乐器的音响放大器功率可以从几十毫瓦做到几百瓦,能在大型剧场、舞厅里无需扩音设备进行独奏、伴奏或加入乐队演奏。

由于电子琴有足够的功率储备和相当大的动态范围,可以细腻地描述轻声效果,又能表现气势雄壮的音乐主题。电子琴的瞬态响应好,各种音响大小比例随意调节,给演奏者临场艺术发挥以极大的自由度。

7. 模拟创造出多种音响

电子琴能够模拟各种管乐、弦乐、打击乐等传统乐器的音响,还可以在这些音响里润以效果音响,如震音、颤音、回旋音、延迟效果音等。

电子乐器可以模仿自然界中的声音,如男声或女声哼唱、鸟鸣、风雨声、枪炮声、火车声、水泡声、蛙叫等等,不胜枚举。

现代电子乐器还可以发出自然界中没有的幻想奇特音响,如太空音响,描述飞碟、火箭的音响,虚幻的仙境、梦境音响以及飘渺、恐怖的音响等等。这些音响在艺术演出和影视音响录制中是很有用的。

8. 自动演奏与自动低音和弦伴奏

在近代电子乐器中,采用了先进的数字化模拟和自动控制电路,自动化水平不断提高。能进行自动打击乐演奏、Bass 低音自动伴奏、示范乐曲自动演奏、自录功能复现演奏、琶音和自动和弦伴奏、自动复合音响功能等等。

由微型电子计算机控制的电子乐器和电子合成器已经出现,将自动功能提高到一个新的水平。

9. 款式多样、功能各异

键盘电子琴的款式多样。台式琴分大型台式和通用台式两种。便携琴分架式和桌置式,也有大、中、小之分。大型琴有单排键、双排键、带独奏键盘的三排键或四排键等多种造型。高档琴有脚键盘。音色模拟、自动打击乐、和弦伴奏功能从几种到几十种之多。

近年来,为了适应传统乐器演奏者的习惯,电子手风琴、电子吹奏乐器、弦控电子琴、键钮式古典风格的电子琴、电子舞琴、电子鼓等产品相继问世。

二、电子琴的缺陷

电子琴的出现与其他新事物一样,不可能是尽善尽美的。它有很多优于传统乐器的

特点,也有不足之处。

电子琴模拟常规乐器的音色一直不很理想,总的来说,只能形似而不能神似。模拟管乐器的音色只在某一频段效果尚好,在整个键盘内不能做到统一。例如,模拟单簧管音色在中频段较理想,低频段则象大管、高频段象喇叭声音。特别是传统乐器演奏时,对音头、音尾和延音每个音符都可进行艺术处理,这方面几乎所有电子琴的模拟效果都是达不到的。

电子琴对弦乐,特别是弦乐群的模拟最不成功。如果一台电子琴能够成功地模拟弦乐群,它在乐队中的地位会显著提高,并被乐队指挥重视,对乐队的人员组成和经济性将产生较大影响。然而,多次尝试都不能获得良好的结果。

电子乐器诞生的初期,被演奏古典作品的指挥家和器乐家看成畸型儿,不准电子琴登大雅之堂。现今,电子琴虽然挤进了某些音乐禁地,但以电子乐器为主题的交响乐、协奏曲、奏鸣曲、叙事诗等典雅作品仍很少见。

电子琴很难使用强弱和润色手段处理每一个音符,也不能分别对单一音符的音头、音尾进行艺术加工。对延音的感情注入也很困难。电子琴只能借助感情踏板或音量控制器系统调整音响幅度,这就不可能细腻地表现作曲家的创作意境。

我们观察一下二胡演奏家的表演就会明了。两根弦的简单乐器演奏“江河水”一曲时,演奏者将身心都沉浸在对音乐主题的理解和再创造的境界,感染了自己和听众。小提琴协奏曲“梁祝”在莫斯科演奏时,台下的妇女频频挥起手帕擦泪。演奏者与听众进行感情交流,带领听众进入音乐主题。

我们何曾见到电子乐器演奏时有过这种场面呢?电子琴演奏者象微机操作者一样,面对那样多的键钮,自己体验到的责任感是正确地取出和制造出繁杂的音响信号。我们体会一下,电子琴演奏的曲子,初听很好听,连续听过几个之后,就觉得乏味了。

精彩的电子琴独奏,观众对演奏者报以掌声,在很大程度上,是喝采演奏者的技巧、琴的功能完善,再加上对电声音响的新奇感。

总而言之,电子琴作为作曲家、演奏者和听众之间感情交流的工具,至少目前是不完善的。

电子琴为演唱者伴奏是成功的,因为演唱者是主要角色,丰富的电子琴音响起到了烘托作用。电子琴参加乐队演奏是最成功的,特别是体现某些乐句和乐段的效果已被充分肯定。电子琴用于舞会伴奏效果很成功,因为人们的感情交流是通过音乐和伴舞来实现的。电子音乐节奏准确,使人们获得了精神享受。电子琴作为少年儿童学习音乐、培养乐感是最好的工具。高级电子琴和电子合成器在舞台、录音、配音、电影和电视中体现各种效果音响也是成功的,但过度重复出现则感到乏味。

电子钢琴是按照钢琴的功能设计的。按键的力度与音响强度成正对应关系。脚踏板也按钢琴原来的位置和功能设置。电子钢琴的演奏效果并不亚于传统的钢琴,音色、音量、使用性能甚至优于钢琴。只是,出于习惯,许多正式演奏场合,还都使用传统钢琴。

第二节 电子琴的基本知识

一、键盘音阶排列的规律

国际上各种乐器的音阶,大都是按十二平均律来标定的。通过五线谱或简谱,作为作

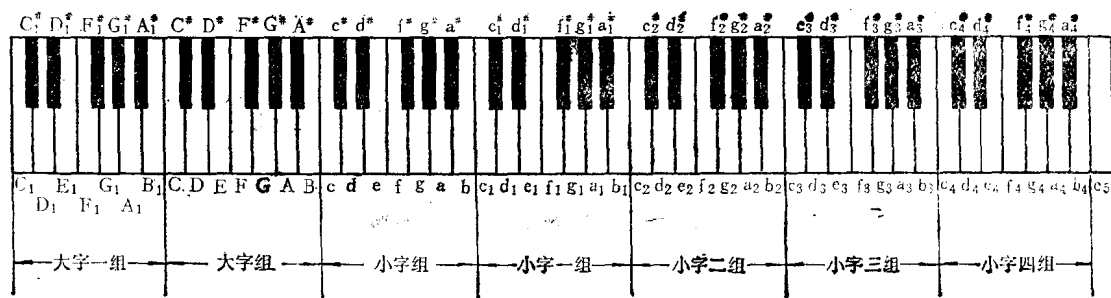


图 1-1 键盘音阶排列图

曲家与演奏者之间联系的语言。键盘式电子琴按这种规律来排列音阶。

图 1-1 给出了七组钢琴键盘的音阶排列图。它们是以十二个键为一组,有规则地排列着。每组有七个白键和五个黑键。相邻组同名音(如 A~a)音阶相差八度,频率相差一倍。音高是左面低,向右依次增高,频率的递增规律也是这样。同名音的频率 f_n 可表示为

$$f_n = 2^{n-m} \times f_m$$

式中 n 为高音组位, m 为低音同名音组位。

例如,小字组 g 音频率为 $f_g = 195.997 \text{ Hz}$, 小字 2 组同名音频率则为

$$f_{g2} = 2^{(2-1)} f_g = 4 \times f_g = 783.991 \text{ Hz}。$$

其他各调的频率关系同样遵循这一规律。

二、音阶和音分

八度音程里有十二个音阶,它们是 $C \sim C^\# \sim D \sim D^\# \sim E \sim F \sim F^\# \sim G \sim G^\# \sim A \sim A^\# \sim B$ 。相邻两个音阶的频率比为 $1: \sqrt[12]{2}$, 亦即相邻键的频率向右递增的规律成等比级数,其公比数为 $\sqrt[12]{2}$, 在音乐上称为十二平均律。例如, $f_{a1} = 440 \text{ Hz}$, 则 $f_{a1}^\# = \sqrt[12]{2} \times f_{a1} = 446.163 \text{ Hz}$ 。这个规律对于电子琴的音准调试是很重要的。

八度音程里有十二个等程音级,每级为半音阶。每八度音程又可分为 1200 个音分。每小二度音程包括 100 音分。电子琴的音准指标,就是以音分表示的。

音分是最小的音程计量单位。比如, $A + 100 \text{ 音分} = A^\#, B - 100 \text{ 音分} = A^\#$ 。每相邻音分之间的公比数为 $\sqrt[1200]{2} \approx 1.00058$ 。有了音分这一计量单位,就可以记音的频率高低。例如,由频率计测得电子琴 f_{a1} 键音频率为 443.83 Hz , 比标准 f_{a1} 高 15 音分,可记作 $a_1 + 15 \text{ 音分}$ 或 $a_1^\# - 85 \text{ 音分}$ 。

在一个倍频音程里的十二个音阶,相互间都差 100 音分。其中每个音阶对原音来说,在音乐上都有专业的叫法,见表 1-1。这些知识对于了解电子琴的和弦伴奏和自动和弦功能是必须的。

三、音准

顾名思义,音准是音阶的准确度。任何乐器,包括电子琴,都不可能将音阶频率做到与国际音标完全一致。传统键盘乐器的音准误差较大,且经常变化,需要经常校准。近代的电子琴采用高稳定度振荡器和数字分频技术来获得音阶信号,可以将音准做得相当好。

表 1-1 八度音程里的音阶构成表

音 程	对原音的音分差别	对原音的频率比
同 音	0	1 : 1
小二度	100	1.05946 : 1
大二度	200	1.12246 : 1
小三度	300	1.18921 : 1
大三度	400	1.25992 : 1
纯四度	500	1.33484 : 1
减五度	600	1.41421 : 1
纯五度	700	1.49830 : 1
小六度	800	1.58740 : 1
大六度	900	1.68179 : 1
小七度	1000	1.78180 : 1
大七度	1100	1.88775 : 1
八 度	1200	2 : 1

绝对音准是指音阶频率与国际音标相差的数值。这一指标对电子琴参加乐队演奏是重要的。绝对音准差的电子琴，在乐队中会产生不和谐的音响。系列音阶之间的相对比例是否符合十二平均率的规律，称为音阶系列的比率音准。绝对音准差而音阶系列比率音准好的电子琴，在独奏或伴唱时，有良好音乐素质的听众也不指责音准有问题。人对音高的记忆是相当差的，音乐专业人员自称随口能哼出准确的各音阶，其音准误差往往达到 ± 20 音分。

在中音区，人耳对频率变化十分敏感，一般人可以直接觉察出两个音之间有 $\pm 0.5\%$ 的频率差别。对于 a_1 音，当频率变化范围为 $437.8 \sim 442.2$ Hz时，这相当于8音分，人耳可以鉴别出来。人耳最不能容忍的是音阶相对比率失准，这就是所谓跑调。

好的电子琴可以将音准控制在1~3音分的范围内，对于专业音乐人员也不能察觉失准。一般电子琴做到音准误差为5音分已足够了。

有些电子琴有音准调整装置，可以将音高系统地调高或降低数十音分，同时保证音阶间的比例不变，这对于参加乐队演奏十分有利。

传统键盘乐器的校音师，大都凭听觉将高频段的音阶调得比标称频率低些，将低频段音阶调得比标称频率略高，所谓“频率收缩”。这种听觉习惯就使得他们听到真正准确的电子琴音阶时，往往错误地认为高频和低频段音阶似乎不准，因此，在电子琴参加乐队演奏时，两边频段音域似乎不如中间频段和谐。这一点在乐队配器时和编曲时应予注意。

根据音乐的要求，常常需要演奏和弦。有的琴按单键就可以产生和弦效果，有的则要同时按下二个、三个键进行和弦演奏。为了产生某些特殊的艺术效果，还要发出各种不和谐音响。如果各键音频率准确，和弦音不会出现抖动。当频率失准时，和弦音显得很和谐。小提琴手演奏前，拉几个空弦双音来判断弦调得是否准确，就是这个道理。