

# 电子乐器

工业出版社

# 电 子 乐 器

(日) 小泽恭至 编  
程 一 中 译

轻工业出版社

~~轻工业出版社出版~~

(北京)~~轻工业出版社~~

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

\*

787×1092 毫米 印张: 5<sup>26</sup>/<sub>32</sub> 字数: 126 千字

1981 年 4 月 第一版第一次印刷

印数: 1—8000 定价: 0.61 元

统一书号: 15042·1580

# 电子乐器——声音的创造

(日) 小泽恭至 编

## 序 言

为努力满足人类对声音无止境的欲望，电子乐器之类的产品近年来急剧增加。这样优秀的电子装置，如果操作错误就会使听众感到难受，好听的音乐也就完全被破坏了。为了不致出现这种情况，我们承担了编纂本书的任务，以适应现代音乐艺术水平和科学技术水平的不断提高和发展。

本书汇集了目前还活跃在各专业部门的人员的亲身体验。虽然，过去这些专业部门的报道不少，而我们把技术同艺术结合起来；把从原材料到演奏技巧综合起来，并归纳到用现代流行的术语来说明是“软”(Soft)和“硬”(Hard)两方面。在不了解哪一方面都不可能演奏的今天，许多人都希望有一本方便的、易懂的、受人欢迎而且又能直接使用的参考书。

本书内容除考虑到对电乐器的演奏者和技术人员有用外，还考虑到对一般乐器演奏者、作曲家、音乐教师、物理教师也有一定的参考价值。如果能够达到这个目的，我们就感到很自豪了。

现在，电子乐器同一般乐器同台演出的情况日益增多，要熟练演奏今后飞速发展的电子乐器，还必须掌握一定程度的技术知识。我们这本书的执笔班子不是很优秀的演奏家，而

只是一群为了不想有负于各国优美音乐表现而日夜坚持写作的人。

如本书能对奏出好的音乐和产生比较优美的声音有一点帮助的话,那是十分荣幸的事情。

最后,对始终指导本书编写和承担主编的渡道贞夫先生深表感谢!

——好声音治病,坏声音致病——

1972年7月小泽幸正

# 目 录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| <b>第一章 谈谈声音</b> .....         | 1  |
| 一、声音的性质 .....                 | 1  |
| 二、声音的感觉 .....                 | 4  |
| 三、音阶的结构 .....                 | 6  |
| <b>第二章 电子乐器的种类及选择方法</b> ..... | 12 |
| 一、弦乐器 .....                   | 12 |
| 二、放大器 .....                   | 15 |
| 三、键盘乐器 .....                  | 19 |
| 四、效果装置 .....                  | 22 |
| <b>第三章 乐队的编成</b> .....        | 25 |
| 一、乐队的编成 .....                 | 25 |
| <b>第四章 弦乐器</b> .....          | 30 |
| 一、弦乐器的使用方法 .....              | 30 |
| 二、吉他的构造 .....                 | 32 |
| 三、夏威夷式吉他 .....                | 37 |
| 四、音程和调弦 .....                 | 41 |
| 五、木材与声音的关系 .....              | 46 |
| 六、弦 .....                     | 53 |
| 七、吉他传声器(拾音器) .....            | 56 |
| 八、附属部件 .....                  | 59 |
| 九、关于装饰和声音 .....               | 64 |
| 十、附件 .....                    | 65 |
| 十一、乐器的保养 .....                | 67 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| <b>第五章 放大器</b>     | 69  |
| 一、放大器的使用方法         | 69  |
| 二、乐器用放大器的特征        | 71  |
| 三、晶体管放大器和电子管放大器    | 78  |
| 四、最大输出和音量          | 84  |
| 五、放大器的构造           | 87  |
| 六、扬声器              | 92  |
| 七、扬声器箱             | 100 |
| 八、特殊效果电路           | 102 |
| 九、放大器的保养           | 107 |
| 十、放大器的故障           | 109 |
| 十一、声乐用传声器          | 111 |
| <b>第六章 键盘乐器</b>    | 115 |
| 一、电子风琴的种类、各部分名称和音域 | 115 |
| 二、电子风琴的动作          | 122 |
| 三、音栓开关             | 132 |
| 四、附属装置             | 139 |
| 五、如何对待电子风琴         | 147 |
| 六、电子风琴以外的键盘乐器      | 150 |
| <b>第七章 效果装置</b>    | 157 |
| 一、电子节奏乐器           | 157 |
| 二、回声机              | 159 |
| 三、回转扬声器            | 164 |
| 四、“法兹”器和“哇呜”器      | 167 |
| <b>第八章 加工实验</b>    | 171 |
| 一、弦乐器的改进           | 171 |
| 二、普通弦乐器的电气化        | 172 |
| 三、放大器的改进           | 174 |
| 四、简单附件的加工          | 177 |

# 第一章 谈谈声音

一般的声音是指人类听觉能感到的物理现象。也就是振动空气造成的声波传到我们耳朵里，因而感到有声音。

声音有各种各样的，象小虫子轻的叫声到喷气飞机的爆发声，人们的耳朵是怎么区别出来的呢？

声音还有各种不同的性质。do、re、mi、fa、so、la、si、do 是声音的高度（频率）发生了变化。

本章讲述的是从一般的声音到音阶的情况。

（声音不一定限制在人类的听觉范围内，这里只以听觉范围内的为对象）

## 一、声音的性质

所谓声音，就是指一般物质在振动时产生的声波。而物质振动次数从每秒十六次（16 赫芝）到最高为两万次（20 千赫）左右，这个范围能被人们的耳朵所听见。由于这些振动是在空气中传播的，所以声音同空气的性质有着密切的关系。

那么，就来谈谈声音的性质吧。

### 1. 声音的要素

声音可以用高度（频率）和强度（声压）等要素来决定。

声音的高度是以一秒钟的振动次数即称为赫芝的单位来表示的，如图 1-1 中波形的一个循环称为一赫芝（在一秒内）。

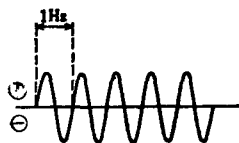


图 1-1 波形

声音的强度就是声音的大小，用称为达因/厘米<sup>2</sup>、昉和分贝的单位来表示。

音质就是音色，由听觉器官根据含有二次、三次谐波的程度来判断，因此不能用数字来表示。音色是“软”的或是“硬”的，这种说法就是表达音色感觉的一个例子。

## 2. 音速同音程

声音传播速度(约 340 米/秒)远比光速(约 30 万公里/秒)慢，这一点从先见闪电后听雷声的现象中很好地体验过了。声音的速度随温度改变，因此音速可用下式来表达：

$$V(\text{音速}) = 331.4 + 0.6t [\text{米/秒}] \quad (t: \text{温度} [^{\circ}\text{C}])$$

乐器这种东西，可以感觉到音程随温度而变化。乐器不用时在环境温度下保存。较长时间使用后，由于乐器贴近人体，使乐器内部温度接近人的体温(约 36.6<sup>°</sup>C)，致与环境温度不同，而音速就改变了，由音速和波长决定的振动长度由远而近是不一样的，所以音程也就发生变化。何况气温的变化也要引起音程的变化。

假定温度变化 10<sup>°</sup>C，音速改变约 1.8%，那么音程的变化就是半音的三分之一左右。这样，使用管乐器的交响乐队甚至要加热乐器，而小型乐队就无法定调了。这种现象，在管乐器等与声音波长直接有关的乐器中特别明显。甚至连弦乐器也会因气温变化而影响音程，这一点请特别注意。

## 3. 声音的传播方法

一般来说，声音是直线前进的，但碰到物体或空气受温度变化的影响时，声音的传播就有如下的形式出现。

(1) 反射：声音具有碰到物体就返回的性质，它是以图

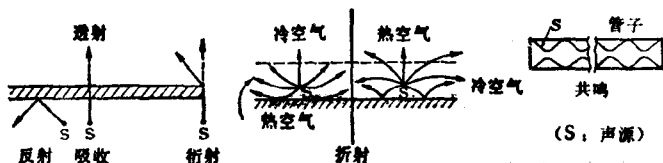


图 1-2 声音的传播方法

1-2 那样的对称形式反射的。山谷里的“回声”效应，就是实际例子。

(2) 透射、吸收：声音在碰到物体时不会全部反射，象玻璃窗或墙壁外面的声音在屋里也能听见，这就说明它有通过物体的性质，称之为透射。又，声音在通过物体时会有百分之几的能量受到损失，这就叫吸收。

(3) 衍射：声音同光线一样，不但有沿直线前进的性质，也有绕过物体或到物体后面去的性质，这称作衍射效应。

(4) 折射：正如上面说的，声音速度随温度而变，温度越高就越快。因而就会象图中画的那样，发生地面上的声音向上弯曲前进，这个现象称为折射。

另外，声音还有共鸣的性质。声音由于这些的共同作用来决定传播方式。因而不管发声体怎么好，如传播过程中有障碍物的话，音色就会变坏。

#### 4. 声音的成分

我们所说的声音是由几个纯音合成出来的。

所谓纯音，就是以正弦函数变化的声音，用电气术语来说就是正弦波即声音的基础。然而自然界不存在纯音。

乐器的声音也是由几个这样的纯音组合而成，作为它基本声音的称为基波，加倍的叫二倍音，三倍的叫三倍音……。

自然界的声音大多伴有整倍数的倍音，所以称作自然倍

音。音质(音色)就是人类对这些音作复杂变化的感觉。

## 二、声音的感觉

进入人耳的声音通过外耳道振动鼓膜，中耳把这振动变为骨的振动传往内耳，再由内耳神经传到大脑就产生声音的感觉。人类的听觉主要有以下几种性质。

(1) 声音的高度由振动频率决定，声音的大小由振幅决定，但声音频率不变而振幅(大小)改变时听起来音高不一样，因此高音区比增加振幅时听起来高。相反，低音区要比减小振幅时听起来低。又，频率变高时，人们听起来比实际音程稍低，而变低时又听着稍高。往往因此而与调音师发生分歧。当然，调音师是对的，因为人家经过很好的训练。这点在调音时请很好注意。

(2) 在声音振幅不变而振动频率变化时，听起来音量也不一样。在小音量下低音和高音都不大容易听清，音量越小这个现象就越严重。

(3) 在小振幅的声音之外再加一个比较大振幅的声音，那么，小的声音就变得听不见了。

以上(2)和(3)项非常重要。(2)用对声音大小的等感度曲线(佛利察——孟逊曲线)来表示，(3)被称作掩蔽效应。下面对这两项和音色的感觉作稍微详细一点的叙述。

### 1. 声音的大小

声音的能量或者声压是物理的衡量尺度，声音的大小就是由能量或声压而造成听觉上的声音强弱(在乐队里称之为声音等级)。物理上的尺度和听觉上的尺度之间存在某种关系，这个关系在图 1-3 中以声音大小的等感度曲线来表示。

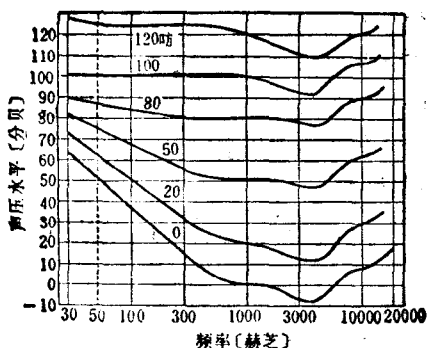


图 1-3 等感度曲线

而声音被感觉的程度用称作“**吩**”的单位来表示，最下面的曲线为最小可听音界限(0 吩)，最上面的曲线为最大可听音界限(120 吩)。

例如，在一千赫附近，产生 50 吩的声音，而声压水平也正好是 50 分贝，要使低音吉他的低音都能发出同等音量的 50 赫芝声音，声压必须提高 20 分贝以上。由于 20 分贝强度差即为 100 倍(功率换算)，在主导吉他用 1 瓦放大器时，低音吉他要 100 瓦放大器才能使人们听到与主导吉他同等的音量。实际上，因为低音部的音量受谐波的影响比基波更大，所以还不致有这么极端的差别。

再进一步提高音量到 80 吩时，随频率的变化就不大了。这时，虽然用大音量弹奏低音琴(或发低音区的音)所表现的音色，在小音量弹奏时听起来变化也不大。

## 2. 掩蔽效应

在安静的地方可以小声谈话，而在交通繁忙的马路上就不行了。总之，尽管是同一音量，但由于别的声音而使之听不

到,这就叫被掩蔽了,也就把这现象称作掩蔽效应。即使信号噪声比较差的放大器,演奏起来也全然感觉不到噪声,这种情况是由于音乐声把噪声掩蔽住了。

两个音的频率越接近掩蔽作用就越大,一般频率高的音较易受比它频率低的音影响。

### 3. 音色的感觉

音色由声音的倍音结构所决定,可以很好地感觉出来。比如调整吉他放大器的音调控制,让吉他的倍音结构和数量发生变化,以便作出被人喜欢的音色,但是改变不了吉他的本质。把音量先放在0,并同时弹拨吉他弦,然后边弹边提高音量,最后发出的声音不象吉他而有点小提琴的味道了。这是因为对拨弦乐器的音色来说很重要的是开始拨弦的一瞬间,这时的声音由于放大器音量过大(造成削顶)发生畸变而造成的。

这样,可以说音色只由固定的倍音结构来决定,而随着倍音结构或音量的变化也使音色发生变化。再者,声音的高度和声音的大小都使音色有微妙的变化。

## 三、音阶的结构

do、re、mi、fa、so、la、si、do 是按一定的规律来组成的,而自然界存在的声音和声音规律,我想是无意识的。

下面叙述一下组成音阶的过程、种类和结构等事项。

### 1. 产生音阶的过程

古代的音阶并不象现在用的等比排列方式,而只是凭某个人的灵机把声音堆砌起来,没有音阶的感觉。

后来,重视了纯调音阶和由自然规律产生的音,并且由成



千上万的人们根据自己的听觉不断提炼音阶，最后才得到现在使用的十二平均律音阶。现在的音阶是由基调的自然倍音所构成的说法最有说服力的。

所谓自然倍音就是在自然界的声发生时所产生2倍、3倍、4倍……等整倍数的倍音。

但自然界的声不能判断出音阶的音，因为振动源夹杂着许多复杂的频率。将这些整理出来并把基本波作成完整的器具就是有音阶的乐器。这种乐器中必然伴有倍音（高次谐波）。在它的倍音里面把 do、re、mi、fa、so、la、si、do 都包括进去了。如以 10 赫芝作为 do，三倍音的 30 赫芝就是 so 的声音（fa、la、si 特殊，fa 以  $F^{\sharp}$ ，la 以  $A^b$  和 si 以  $B^b$  出现。而  $\sharp si$  是 so 的第五倍音）。

音阶就是这样产生的，它是在人类同自然界较长时间的接触中不断发展而成，并不是人们有意识地创造出来的。

## 2. 音阶的种类

历史上曾经有过西欧的毕达哥拉斯音阶和中音调律音阶等，毕氏音阶与中国的三分损益法和日本的八逆六法同为最古老的音阶。又，比较近代的有纯律音阶，此后一直流传到现在的是十二等分平均律音阶。

纯律音阶由基于自然倍音如表 1-1 那样来构成。由此可见，由于各音之间的排列比例不同，在转调时乐器必须重新调整。虽然现在在交响乐队演奏古代乐曲时还有使用纯律音阶的，此外就不大使用了。

由于十二等分平均律音阶到十七世纪才由 M·梅尔森耐等人总结出来，所以巴赫是使用最早的人。下面讲一下十二等分平均律音阶。

十二等分平均律音阶如表 1-2 所示，各音间以等比例排

表 1-1 纯调音阶的构成

| 音程<br>(间隔) | 对原音的<br>频率比 | 由原音开<br>始的音分 |
|------------|-------------|--------------|
| 同音         | 1:1         | 0            |
| 半音         | 16:15       | 111.731      |
| 小音         | 10:9        | 182.404      |
| 大音         | 9:8         | 203.910      |
| 小三度        | 6:5         | 315.641      |
| 大三度        | 5:4         | 386.314      |
| 纯四度        | 4:3         | 498.045      |
| 增四度        | 45:32       | 590.224      |
| 减五度        | 64:45       | 609.777      |
| 纯五度        | 3:2         | 701.955      |
| 小六度        | 8:5         | 813.687      |
| 大六度        | 5:3         | 884.359      |
| 和声七度       | 7:4         | 968.826      |
| 低小七度       | 16:9        | 996.091      |
| 小七度        | 9:5         | 1017.597     |
| 大七度        | 15:8        | 1088.269     |
| 八度         | 2:1         | 1200.000     |

表 1-2 等分平均律音阶的构成

| 音程<br>(间隔) | 对原音的<br>频率比 | 由原音开<br>始的音分 |
|------------|-------------|--------------|
| 同音         | 1:1         | 0            |
| 小二度        | 1.059463:1  | 100          |
| 大二度        | 1.122462:1  | 200          |
| 小三度        | 1.189207:1  | 300          |
| 大三度        | 1.259921:1  | 400          |
| 纯四度        | 1.334840:1  | 500          |
| 减五度        | 1.414214:1  | 600          |
| 纯五度        | 1.498307:1  | 700          |
| 小六度        | 1.587401:1  | 800          |
| 大六度        | 1.681793:1  | 900          |
| 小七度        | 1.781797:1  | 1000         |
| 大七度        | 1.887749:1  | 1100         |
| 八度         | 2:1         | 1200         |

(音分:一个倍频程的1200分之一)

列,按下述定义构成。

倍频程按 12 个等分划出一般即为半音,半音的两倍为全音,也就是基音为  $f^1$  的倍频就是  $f^{12} = 2$ , 各半音的频率比为  $f = \sqrt[12]{2}$ 。

再把半音细分 100 个音分,一个倍频程则有 1200 个音分。

由于等分平均律音阶在数值上可以很明确地决定下来,因此就有即使转调也能得到均匀发声的优点。但是,频率的比  $f = \sqrt[12]{2} = 1.05946\cdots$  是个无理数,所以与纯律音阶的自然音程声音不一致,在弹奏任何调的和声时也得不到严格的纯协和音,这是个缺点。而它与纯律音阶的偏差最大不到 1% (16 个音分左右),耳朵好的人是感觉得出这种差别的。

图 1-5 用五线谱画出倍音的情况。



图 1-5 倍音举例