

# 音质评价手册

北京迷笛演艺高技术中心  
广播电影电视部科技情报所



## 编者的话

当今广播电视技术日新月异，磁记录技术水平的不断提高，已经进入信息时代，从模拟记录方式到数字记录方式的变迁，意味着音质大幅度的提高，人们如何去评价音质，是摆在专业工作者们面前的重要课题。

《音质评价技术》一书，是八年前在日本出版的，而今已由机械电子工业部三所张桂昌等同志译成中文出版，这是我国音频界的一大喜讯，也是向我国从事音响和音乐工作者们献给的一份厚礼。目前，在我国这类专著是不多的。

本书的作者厨川守先生、远藤谦二郎先生、茂木宪夫先生都是日本有名的从事音质方面的专家和学者，他们从事音质方面的研究，花费了23年的时间，进行了不断的研究和探索，积累了大量的实验数据和资料，编写成这部专著。

不仅从理论上，而且从实践上都有很深的造诣和丰富的实践经验。该书的出版，凝聚着作者们的心血和智慧，是对国际社会一大贡献，应该向他们表示衷心地祝贺。该书全面地系统地介绍了音响与音乐的音质评价技术。

作者们认为，音质的好坏，首先必须考虑的是心理量，其次要考虑的客观的定量实验。此外，在音乐领域，若是明确了作为声音基础的协和性，也就抓住了音质的梗概。关于协和性理论的研究，介绍了龟田理论。

本书的特点是：

1. 系统地介绍了音质为中心的有关问题，由浅入深地叙述了音质评价方法。
2. 从研究实践中，理论联系实际，书中介绍了龟田理论及作者们大量的实验数据及图表，一目了然。

3. 各章节简单扼要，观点明确，会给广大读者以启迪，从中掌握音质评价的方法。

基于上述该书的丰富内容及其特点，可以认为是现代音质评价的一部很好的专著，是一部很好的参考书，许多见解和音质评价方法符合我国的实际，这种专著在国内还是少见的。为此，借助于本书中文译本出版发行之际，特向国内从事音响与音乐的工作者们推荐阅读，相信，定会从中学习到音质评价的方法及其宝贵的经验。有利于我国从事广播、电影、电视、录音、音响以及广大音乐工作者们提高音质评价技术水平。

此外，对参加本书翻译工作的张桂昌、杨顺安、孙立群、潘晶、隋锡忠、严华同志，及参加审校工作的陈贵民同志及其他同志为本书的出版所付出的辛勤劳动和做出了有益的贡献，一并表示衷心地感谢。



90033076

1992年8月

# 目 录

## 第一篇 音质与听觉

### 1.1 声音与音质

- 1.1.1 声音与语言、音乐与噪声 ..... ( 1 )
- 1.1.2 听觉与视觉 ..... ( 2 )
- 1.1.3 感官评价 ..... ( 3 )

### 1.2 波形、频谱与音色

- 1.2.1 音质与音色 ..... ( 5 )
- 1.2.2 声波与音质 ..... ( 6 )
- 1.2.3 波形与频谱 ..... ( 8 )
- 1.2.4 频谱的形成 ..... ( 9 )
- 1.2.5 频谱的变形 ..... ( 10 )
- 1.2.6 重放声的高低音平衡 ..... ( 12 )

### 1.3 音质的宏观结构

- 1.3.1 音质的构成与分类 ..... ( 13 )
- 1.3.2 静态持续音与动态持续音的声波区域 ..... ( 14 )
- 1.3.3 调频音的音质与摇滚效应 ..... ( 15 )
- 1.3.4 调频音的音质与临界带宽 ..... ( 17 )

### 1.4 听觉的听音结构

- 1.4.1 从外耳到中耳的生理结构及其功能 ..... ( 19 )
- 1.4.2 内耳的生理及其功能 ..... ( 19 )

### 1.5 听觉对音质的感知

- 1.5.1 听觉神经通路与声音的感知 ..... ( 20 )
- 1.5.2 大脑对声音的知觉 ..... ( 22 )

### 1.6 表现声音的术语

- 1.6.1 38种表现音质的术语 ..... ( 23 )
- 1.6.2 表现术语在音质空间的分布 ..... ( 24 )

### 1.7 音质的7属性及其分析方法

- 1.7.1 音质的宏观结构与7属性 ..... ( 26 )
- 1.7.2 用多维尺度构成法求术语分布的方法 ..... ( 28 )

### 1.8 音质的3主属性

- 1.8.1 声音的3主属性是如何决定的 ..... ( 29 )

1.8.2	可听声的声压范围和频率范围 .....	( 30 )
1.8.3	声音的强度与响度 .....	( 31 )
1.8.4	音高的高低与美尺度 .....	( 32 )

### 1.9 协和性与平滑性

1.9.1	协和性与平滑性 .....	( 34 )
1.9.2	随音高和响度而变化的协和性 .....	( 35 )
1.9.3	相对协和性与绝对协和性 .....	( 37 )
1.9.4	协和性和平滑性与同音高响度的关系 .....	( 38 )
1.9.5	关于复合音协和性的龟冈理论 .....	( 39 )
1.9.6	协和性与平滑性在音质空间中的分布 .....	( 42 )
1.9.7	临界频带宽度与协和性(邻近两成分音的一些问题) .....	( 44 )
1.9.8	掩蔽效应与粗糙性 .....	( 46 )

### 1.10 明亮性与丰满性

1.10.1	明亮性.....	( 48 )
1.10.2	丰满性与明亮性.....	( 49 )

### 1.11 立体声与双耳听

1.11.1	立体声与双耳听(binaural).....	( 51 )
1.11.2	两扬声器系统的重放与各扬声器音量差和相位差产生声像定位的方法.....	( 52 )
1.11.3	立体声的本质论——吉田理论.....	( 54 )
1.11.4	声像的定位方向.....	( 55 )
1.11.5	定位声像的质量.....	( 56 )
1.11.6	用扬声器重放双耳立体声.....	( 57 )
1.11.7	声场的扩展感与两耳相关系数.....	( 59 )
1.11.8	用头戴耳机聆听时的声像.....	( 60 )

### 1.12 语音和乐器音

### 1.13 噪声及其评价方法

## 第二篇 乐音与乐器音

### 2.1 乐音的音质

2.1.1	乐音的音质 .....	( 65 )
2.1.2	乐音的音高中心 .....	( 66 )
2.1.3	乐音的响度中心 .....	( 67 )
2.1.4	音的法轮、音的吊钟、音的铅笔 .....	( 69 )
2.1.5	音乐的基础——音阶.....	( 70 )
2.1.6	协和度的全频带频率特性 .....	( 72 )

## 2.2 乐器音的4副属性

- 2.2.1 乐器音的协和性 ..... ( 74 )
- 2.2.2 乐器音的粗糙性 ..... ( 75 )
- 2.2.3 乐器音的明亮性 ..... ( 76 )
- 2.2.4 乐器音的丰满性 ..... ( 77 )

## 2.3 乐器音

- 2.3.1 从发音结构看乐器的种类及音质 ..... ( 79 )
- 2.3.2 乐器音形象的结构 ..... ( 81 )
- 2.3.3 小提琴类乐器的音质特征 ..... ( 82 )
- 2.3.4 小提琴E弦音的详细分析 ..... ( 84 )
- 2.3.5 打击乐器在音质的地位 ..... ( 89 )
- 2.3.6 钢琴音 ..... ( 90 )

# 第三篇 重放声的音质评价

## 3.1 重放声的各种观点

- 3.1.1 评定重放声的4要素 ..... ( 93 )
- 3.1.2 重放声的各个环节 ..... ( 94 )
- 3.1.3 对理想重放声的三种观点 (PHF-SHF-GR) ..... ( 95 )

## 3.2 音质评价人员的问题

- 3.2.1 音质评价人员 ..... ( 96 )
- 3.2.2 普遍性评价与个人喜好(Personal Invariant personal variant)  
..... ( 97 )
- 3.2.3 三度音质评价法 (对改进电声产品音质有效的实例)..... ( 99 )
- 3.2.4 影响音质评价的重放音量 ..... (103)
- 3.2.5 音量变化产生的音质变化 ..... ( 105 )
- 3.2.6 怎样考虑响度控制 ..... ( 107 )
- 3.2.7 音质内容不同的术语 ..... ( 108 )
- 3.2.8 重放声的表现术语 ..... ( 110 )
- 3.2.9 评价重放声的能力与教育效果 ..... ( 110 )

## 3.3 试听室与重放的方法

- 3.3.1 室内声的建立与衰减 ..... ( 114 )
- 3.3.2 直达声与间接声 ..... ( 115 )
- 3.3.3 房间与最佳混响时间 ..... ( 117 )
- 3.3.4 房间的固有振动 ..... ( 118 )
- 3.3.5 扬声器的布置及试听位置对音质的影响 ..... ( 121 )
- 3.3.6 房间不同对声音的影响 ..... ( 123 )
- 3.3.7 试听音乐房间的隔声 ..... ( 124 )

- 3.3.8 对房间声学特性的改善 ..... ( 126 )
- 3.3.9 向 8 万名听众进行宽频带重放时,有关音质的技术问题..... ( 128 )

### 3.4 声 源

- 3.4.1 声源的频率范围 ..... ( 129 )

### 3.5 失真与音质

- 3.5.1 音质测量与声学测量 ..... ( 131 )
- 3.5.2 产生失真的主要因素 ..... ( 133 )
- 3.5.3 谐波失真与音质 ..... ( 135 )
- 3.5.4 四种类型非线性失真与音质(压缩扩张型,饱和A型,B型,交叉型)..... ( 136 )
- 3.5.5 差频失真与协和性理论的应用 ..... ( 138 )
- 3.5.6 测量对重放音质广泛变化的瞬态失真用的猝发声的特性 ..... ( 143 )
- 3.5.7 在音域变化时相位调制失真对音质的影响 ..... ( 144 )
- 3.5.8 综合评价系统失真的二阶堂失真 ..... ( 144 )

## 第四篇 录音与重放设备

### 4.1 重放设备的课题

- 4.1.1 从音质方面看重放设备的作用及其完善度 ..... ( 147 )
- 4.1.2 从音质方面看组合件的课题 ..... ( 148 )

### 4.2 唱 片

- 4.2.1 唱片的制作技术及其发展 ..... ( 150 )
- 4.2.2 三种唱片噪声 ..... ( 153 )
- 4.2.3 寻迹失真的种类 ..... ( 155 )
- 4.2.4 寻迹失真的校正..... ( 157 )
- 4.2.5 唱片的录音电平及其界限 ..... ( 160 )
- 4.2.6 用单眼看刻槽电平——光带测量法 ..... ( 161 )
- 4.2.7 唱片的使用保养与喷涂..... ( 162 )

### 4.3 拾音头与唱针

- 4.3.1 不同方式与音质的关系 ..... ( 163 )
- 4.3.2 唱针的材料、形状与音质 ..... ( 164 )
- 4.3.3 对拾音头和唱针的错误看法 ..... ( 166 )
- 4.3.4 如何充分发挥拾音头的性能 ..... ( 166 )

### 4.4 传声器(俗称话筒)

- 4.4.1 4种新型传声器的音质..... ( 168 )
- 4.4.2 通过彩色音乐装置重新评价电动型传声器 ..... ( 169 )
- 4.4.3 发展中的混响声传声器 ..... ( 170 )

## 4.5 拾录音技术

- 4.5.1 拾录音的初步知识 ..... (171)
- 4.5.2 确定录音电平对各种电平表的掌握 ..... (172)
- 4.5.3 传声器的指向性和乐器的指向性 ..... (174)
- 4.5.4 近距离拾音和远距离拾音 ..... (175)
- 4.5.5 传声器混合 ..... (177)
- 4.5.6 调音技巧 ..... (178)
- 4.5.7 从专业角度看演播室录音 ..... (179)
- 4.5.8 非常方便的接线盘 ..... (182)
- 4.5.9 PCM演播室设备 ..... (182)

## 4.6 磁带录音机

- 4.6.1 交流偏磁录音与音质 ..... (186)
- 4.6.2 磁带录音机的频率特性 ..... (188)
- 4.6.3 录音机的录音界限与噪声 ..... (189)
- 4.6.4 充分发挥录音机的性能 ..... (190)
- 4.6.5 使用录音机时用的附件 ..... (193)
- 4.6.6 盒式磁带的种类、特性及音质 ..... (193)
- 4.6.7 最新降噪系统 ..... (195)
- 4.6.8 Adres方法及其效应 ..... (197)

## 4.7 调谐器

- 4.7.1 调幅广播与调频广播 ..... (200)
- 4.7.2 何谓高质量的调频调谐器(1) ..... (201)
- 4.7.3 何谓高质量的调频调谐器(2) ..... (202)
- 4.7.4 熟练使用调频调谐器 ..... (204)

## 4.8 天线

- 4.8.1 天线的设置要点 ..... (205)

## 4.9 前置放大器和主放大器

- 4.9.1 音调调节会使音质怎样变化 ..... (207)
- 4.9.2 音调调节器和峰化电路的音质调节效果 ..... (211)
- 4.9.3 主放大器的性能与音质 ..... (213)
- 4.9.4 主放大器的输出与音质 ..... (214)
- 4.9.5 放大器的试听 ..... (214)

## 4.10 锥型扬声器

- 4.10.1 锥型扬声器(俗称纸盆扬声器)与潮湿 ..... (216)
- 4.10.2 锥型扬声器的性质和音质 ..... (217)
- 4.10.3 锥型扬声器振膜的防尘罩的形状和音质 ..... (219)
- 4.10.4 锥型扬声器轭环的声学特性及音质 ..... (222)

4·10·5 普及型全频带扬声器的音质特性..... ( 223 )

#### 4·11 高音扬声器

4·11·1 要根据用途分别使用..... ( 224 )

4·11·2 高音扬声器哪种好..... ( 225 )

4·11·3 高音舒展与30°指向特性 ..... ( 227 )

4·11·4 高音扬声器的指向特性对音质影响很大..... ( 229 )

4·11·5 各种类型高音扬声器的试听比较..... ( 231 )

#### 4·12 中音扬声器

4·12·1 喇叭型中音扬声器和锥型中音扬声器音质上有何区别..... ( 234 )

4·12·2 锥型中音扬声器的音质与喜好的倾向..... ( 235 )

4·12·3 高级喇叭型中音扬声器的音质..... ( 236 )

4·12·4 中音扬声器频带的表现术语与物理特性..... ( 237 )

#### 4·13 低音扬声器

4·13·1 由于设置场所及聆听位置不同使低音扬声器的音质受到影响  
..... ( 239 )

4·13·2 低音扬声器的表现术语、口径以及与好坏有关的物理特性..... ( 240 )

4·13·3 超低音域的聆听位置..... ( 243 )

#### 4·14 扬声器系统

4·14·1 扬声器箱的前面板板的强度与低音的关系..... ( 245 )

4·14·2 压力平衡型扬声器箱的低音特性..... ( 247 )

4·14·3 交叉频率(分频点)的好与坏..... ( 249 )

4·14·4 分频网路与音质..... ( 250 )

4·14·5 扬声器系统的音质与实际声场特性..... ( 252 )

#### 4·15 耳机

4·15·1 耳机的声音与自由声场的声音..... ( 256 )

附表1~附表8



# 第一编 音质与听觉

## 1.1 声音与音质

### 1.1.1 声音与语言, 乐音与噪声

一周岁以下的婴儿主要是用哭泣来表达生理上的感情, 一般来说, 过了一岁便能说出五六个词(图1)。尽管是一岁多的婴儿只能表达情感, 可是已开始说、听和理解语言了。语言乃是只有人类才具有的高度精神活动的产物, 这是在大脑中的动物性的旧皮质或古皮质的活动区域中, 又增加新皮质的活动。

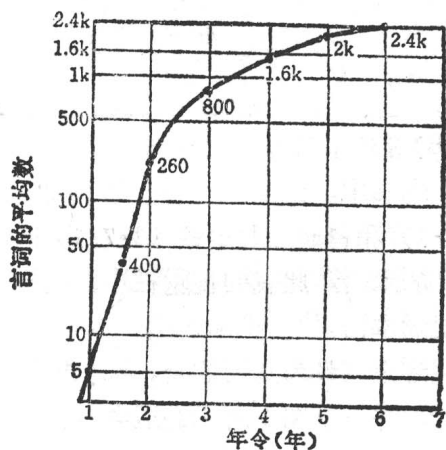


图1 音词数与年龄

到了成年, 情感的活动充满生气, 有理性的语言活动, 用于信息交流或学习技术和知识。在这种人类活动中, 包括思想在内, 与语言有关的活动实在是太多了, 它与大脑中的听觉区不同, 有三个语言区对语言起作用。

在研究音质时, 乐音及噪声的研究是与听觉生理、听觉心理和声学并肩前进的, 彼此间非但不矛盾, 而且互相促进, 这些已是被公认的事实。但就音质研究方法而言, 对

日本语的五十音的音质研究不能简单的与对自然音的音质研究用同样的方法。如果用生气时说的“啊”音和高兴时说的“啊”音来做试验音, 那么两者在音质空间中的位置恐怕会移动到莫名其妙的地方。如果把这两个“啊”音的前后段都切去, 得到没有注入发音人感情的自然音, 试验兴许能够成功。

在本书中, 对语言只稍加说明, 主要是研究其他领域声音的音质。

最近, 在音乐中开始大量使用被称做噪声的声音, 以致区别不出音乐, 还是噪声。有人认为, 即使是被称为噪声的车辆声, 如果听者当做音乐来听, 那它就是音乐, 即便是音乐, 对于不想听的人来说, 那它就是噪声。象这样从心理方面下的定义, 正在被广泛使用着。

从音质方面来看, 即使是非常想听的音乐或一听就心旷神怡的所谓背景音乐(BGM), 其音质也会因听者的心理状态(mental set)不同而稍有变化。

同是街道上的噪声, 在不去格外注意它边走边听时, 和正在屋里工作被其干扰时, 所引起的烦恼程度是不一样的, 这是用不同的心理量来表现的音质问题。

最近, 重放声的音质问题非常突出, 成为讨论的重点。但是重点不是至此所论及的整体声的宏观结构问题, 而是讨论下述三种情况得出的三种评价: 第一, 原声与重放声在物理上是否是同样声波; 第二, 尽管实际演出是在大厅中而重放声是在自己的住房中, 主观上是否有相同的感受, 即主观等效

值\*；第三，重放时，可以不太拘泥于原始声，只要能重放出优美动听的音乐就可以。

在不同的两个条件下聆听声音时，在某属性（如声音的大小）却有相同的感受时，即使二个音的物理条件不同，就此属性而言，此两个音也是主观等效的。

例如，同一音乐，分别在有噪声的环境和安静的房间重放时，尽管后者的音量要小一些，但感到乐音的大小是相同的。此时，这两个乐音的大小就是主观等效值。

不仅是声音，更一般地说，有两种刺激  $R_a$  和  $R_b$ ，尽管其他方面不同，但某种属性引出对等感觉，这时，对于  $R_a$  和  $R_b$  来说，就是主观等效值。

很显然，既然音质是一种心理量，那么音质评价就会因听者的听觉特性和对声音的喜好而变，会随场所和时代而变，这是一个回避不了的问题。因此，需要通过相当多的实例，明确分出众人的共同评价和个人的嗜好评价，并加以量化。

总之，所谓重放声，它有各自的原声，对各个原声来说，重放声如何？我们应该以一个原声为中心，考察它与这个原声相近的微小音质差别，即考察声波的微观结构。

而且除了评价重放声本身外，人们更想通过评价重放声来评价重放设备的优劣，这是比评价重放声更为重要的问题，因此，关于各种放重设备的性能与音质的关系，也是我们要深入探讨的问题。

### 1.1.2 听觉与视觉

#### (A) 联觉 (synaesthesia)

所谓联觉就是由于一种感觉而引起另一种感觉（如看到红橙黄等色彩可引起暖的感觉等）。广义地说，韵修 (E. Jaensch) 所列举的感觉上的联觉、表象上的联觉，感情上的联觉属广义的联觉。在这种感觉方面，由声音引起的颜色的感觉叫做色觉 (colour

hearing)。吉得 (A. Gide) 曾说过，田园交响乐中的盲人少女，听管弦乐时用颜色来说明乐器音色的情景，说法国号对应于红，长号对应于橙，小提琴和大提琴对应于黄色，低音提琴对应于绿色，单簧管对应于紫色，双簧管对应于兰色。还有，康定斯基 (W. Kandinsky) 说，圆号对应于紫色，小提琴对应于绿色，大提琴对应深兰色。这些说法是因人而异的，看来，不通过感官评价法来确切证实，是不会有科学性的。而且，演奏方法和音程不同时，音色的感知也大幅度变化，就此意义上看，科贺 (Kirher) 所说的和谐音的色觉是满有意思的，表 1 列举了他的一部分说法。

表 1 音程和颜色(kirher的观点)

小2度 白	5度 金黄(橙黄)
小3度 黄	大6度 大红(橙红)
大3度 红(明)	小6度 兰紫
全音 黑	8度 绿

#### (B) 音质术语与视觉术语

在本书中，论及音质的结构和分类 (1.3.1) 和音质的七属性 (1.7.1) 时，使用表 2 的术语，此表的视觉栏中，列出了对应的视觉术语。

在这里，最为重要的是，我们所说音质或音色，并不象图 1 所示的迈歇尔色立体中

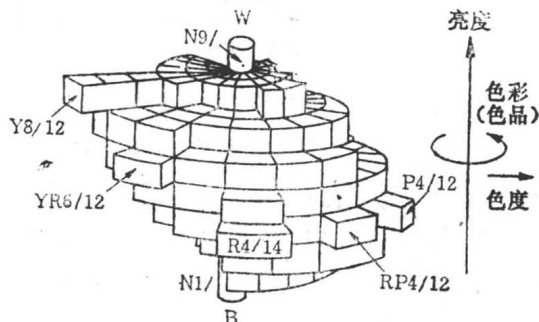


图 1 迈歇尔色立体

注：纵轴由下到上表示从黑到白的亮度，在纵轴的周围存在着红黄绿各种色彩，从纵轴中央到外侧的远近表示色度（色品）

\* 主观等效值 (point of subjective equality, PSE)

表 2 听觉与视觉的描述对比(对听觉的心理结构)

听 觉		视 觉	
	属 性	本书的用语	属 性
三主属性	音 高 响 度 愉 快 感	高一低 大一小 愉快—不愉快	(色彩) 深浅 色彩 (色品) 大 小 愉快—洁白无疵—脏
四副属性	协 和 性 平 滑 性 明 亮 性 丰 满 性	清澄—浑浊 平滑—粗糙 明亮—灰暗 丰满—单薄	色度, 清晰度 (图案) 对比度 (图案) 亮度 丰满度 (图案)
音质的组	持 续 音 单 音 复 合 音 立体声 (两耳听)	停止了一动了 (声音) 建立、持续、衰减 几个音同时存在 方位和立体感	单色 (无花纹纯一色) —重复性图案 着眼点为单一图案 着眼点为复杂图案 立体图案
心 状 理 态	重 放 声 噪 声	要听的声音 不要听的声音	动画片 看了不愉快的不想看的

的感觉量, 只归入较狭窄的范畴, 而是范围十分宽广的感觉量。音质包含着视觉中有关图案性质的心理量。不过, 从此表中可以看出, 有很多听觉术语都是从视觉术语转化来的。

如果表 2 中立体声以下条目不看, 只看到复合音、则在感觉上音质的定义是像迈歇尔色立体一样, 是三维的, 用三维就能充分地说明音质结构 (参见 1.7.1 节), 当然与色立体有本质的不同。

对色立体来说, 立体空间中的某一处, 主观上谁见了都会认为是同一颜色的, 此图中的空间位置分别表示一种颜色。这样, 可以简单明确的表现心理量。如黄绿色, 无论是黄绿色本身, 还是黄色和绿色调合成的黄绿色, 两者没有一点区别, 主观上认为是相同颜色, 可是在钢琴键盘上弹出“多(C)、来(D)、咪(E)”的“咪(E)”音, 虽然想用“E”两侧的“C”和“G”来合成“E”, 但是很明显, 仍然弹出来不同的“多(C)”和“嗦(G)”音, 这叫欧姆法则。广义说, 乐音成份的声压-频率特性可

具有各种各样的模式, 除了很近似的音质, 它们是不可能被听成同一种声音的。从声压-频率特性上看有各式各样的音质。

从这一观点出发, 本书中所表述的声音的七属性的立体结构是表示其音质的宏观结构, 可以看成是音质倾向的分类, 其精度是在某种程度上定量地表示七种属性相互间的关系, 该点进入不会发生矛盾的范围。

对听觉生理的现象, 明确了经过几个不同阶段, 边保持思维的识别信息边传达到大脑 (参见 1.4, 1.5)。

### 1.1.3 感官评价

到底什么是感官评价 (sensory evaluation) 呢? 先让我们扩展开来看。

视觉、听觉、味觉、嗅觉, 触觉等乃是用感觉器官 (感受器 receptor), 通过看、听、尝、闻、摸等动作产生了感觉, 然后再表达出来。被表达的感觉的侧面叫做属性 (attribute), 要确定某种属性及其强度等与给定刺激间的关系, 这就是感官评价。当然, 也常有只评价感觉的相似或相差程度的。

在日常生活中, 人们总是经常进行着感

官评价，总想通过感官评价以可靠的、具有普遍性的某种形式，来定量地确知其心理量（图1）。

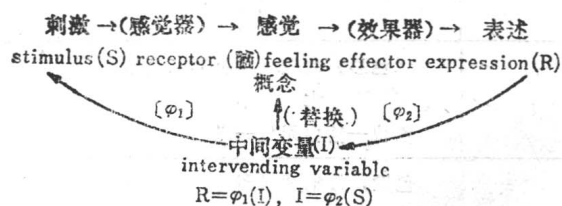


图1 感官评价过程（引自吉田登美男）

试举一个听觉例子。如果在实际听音时，用言词或笔记来直接表述所感受到的音质感，就容易获得与刺激对应的确切回答；如果考虑到其感受既非彼，也非此，则其表述与所感觉到的东西就稍有差异。也就是，从刺激到感觉，从感觉到表述这两个过程中，容易出错的机会会有两次（图1中的 $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$ 的变换）。

此外，由于各种各样的试听条件，评价结果会有所变化，在3.1.1节中讲到的决定重放声的四个要点，这些难度会降低评价的可靠性。

因此，关于感官评价，必须遵守如下四条规则：

(1) 对于评价的刺激音，不要发生经验知识或视觉上的类推等。

(2) 听音人员不能与其他听音人员讲话。

(3) 进行音质评价时，不考虑旋律，要集中在音质本身上。

(4) 要将听到的感觉不加任何考虑地直接表述出。

听音人员懂得上述几点后，就可以进行感官评价。常用的方法如下：

(1) 听音素材：判断音质时，如果用音乐，一般采用5~10秒的提示，普通声音信号约为2~5秒，为了听起来声音强弱相同、使用多声源时，要预先将多种样品音的音量调整一致。

## (2) 听音人员的人数

人数按评价目的来确定，从七、八名到五十名不等，至少须要能够获得实验稳定性好的结果。如果人数少，可增加评价次数，这样也可提高评价的准确性。

## (3) 试听方法和记录方法

(a) 绝对判断法 (method of absolute judgement)。事先确定好要回答的问题之后，作为预备试验，让听音者听取某些样品音群，做出回答的基础。然后，改变听取的顺序，对一个一个的音，评价所听到的感知的自由度。

(b) 成对比较法 (pair Comparison)。这是一种经常使用的方法，当有样品音A、B、C、D……时，先听A和B，若B比A差，则记为-2。表1表示七等级判断法，许多时候有以0为中心分五等级或三等级，让听音者进行判断的方法。

表1 七等级判断法

很好	+3	稍差	-1
好	+2	差	-2
稍好	+1	很差	-3
分不清好坏	0		

下面，按随机的顺序听取C与D，B与C，A与D等全部组合的样品音，经常使用西叶兹夫的成对比较法进行判断，如果样品音太多，也可采用不进行全部组合的不完备型（参看1.7.2节）。

(c) SD法 (语义差别法, Semantic difference method)。这也是一种广泛使用的方法。例如，把38个表现术语（参见1.6.1节）交给听音者，每听一次音，就将符合其音质感觉的术语，如“清澈”，按刚才听音断定的等级写出相应的得分，符合者填写+2，稍符合者填写+1。

(4) 探讨评价结果可靠性的方法与计量心理学 (quantitative psychology)。

如果同一样品音听了两次，前后两次回答不知不觉地有了矛盾，这时需求可靠性。在计算上，对听音者的这样的评价，多采用抵消的方式，也有的列入误差的方法。

从感官评价结果求出心理量的方法叫做计量心理学。作为表现方法，可用主观评价的方法，可用心理上的分布图表示，其结果将多次出现在本书中。

## 1.2 波形、频谱与音色

### 1.2.1 音质与音色

#### (A) 音色的涵义

对颜色来说，按其波长的不同而有1.1.2所述的色彩变化。声音也是这样，按其波长（也可称做频率），连纯音（从低音到高音之间）也有着各式各样的音色变化的元音性（参看2.1.4）。

在声音中，与这种颜色体系对应的叫作纯音的静态持续音。对于纯音，音高和响度大体是正交的两根轴线，其他属性有元音性，也有人用明亮度等来表述纯音的，但没做定量的探讨（参看2.1.4）。

如今，已用多维尺度构成法（参看1.7.2）求得了合成音音源的分布，如图1所示，图中在音高轴与愉快轴的平面上，60

dB、70dB、80dB的纯音呈弓形并排着。中音愉快，而且音量大时则更感到愉快。这就叫做纯音的弓。

这样的方法，只能对一部分音，定出音质的位置，并不对所有音起作用。

有许多人对此提法有异议，认为一般而言，音高和响度以外的音质差异就叫音色，与此对应的物理量是频率、声压和波形。不过，通过人聆听各种持续音相互间的声音差别时，由于不同元音的感觉，好比颜色的差别那样，听音的感觉也有所不同，所以有人把持续音的音质差异，主要看做是音色的差异。就是说，过渡音和立体音是音色范围之外的东西。

#### (B) 音质的涵义

音质就是声音的性质的意思，从广义来说，感觉上不同的音，音质就不同。譬如，一级小提琴和二级小提琴，连外行也能听出声音的质量有差别，这就叫做音质不同，就说音色最重要的部分有质的不同。

麻烦的是，现在在艺术领域中的音乐界人士和从事音响技术的人员，对音质的解释现状不完全相同。

#### (C) 本书的立场

针对上述现状，我们在音质与音色的问题上，要很好的斟酌，不然就不可能使本书进展下去。本书中，谈论音质时，是指在音质构成结构上（参见1.3.1）从静态持续音到复合音，包括立体声在内的音质，不包括多音和乐音。因此，在听乐音中的音质时，使长度在10秒以内，使训练过的受试者的心理状态保持在尽可能不考虑节奏和旋律，只

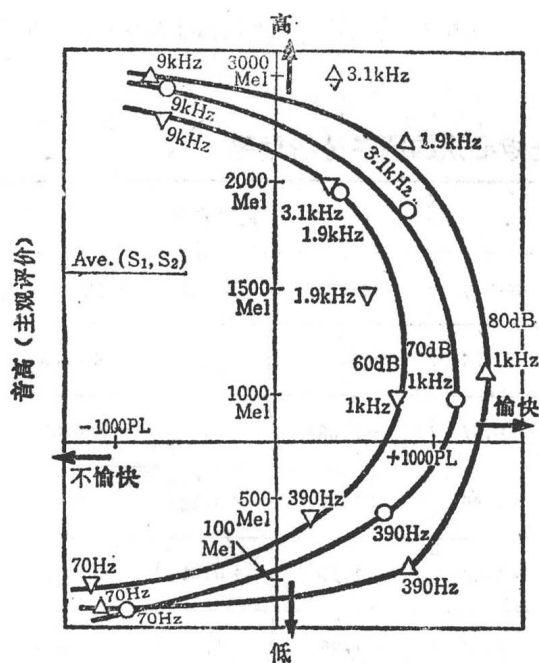


图1 纯音的音高和愉快度的弓〔注：合成音源S1和S2（参见书末附表）的1.8.4节试验的平均值〕

听所要听的音的性质，这样的试验结果就可以使用。

此外，谈到音色时，主要指与声音的持续部分的音高和响度大小密切相关的频谱形式（频率-声压特性）所产生的不同音质，不包括有瞬态音的单音和多音，但是音质中的音色范围，是难于这样严格规定的，所以，尽量避免使用音色这样的字眼。

(D) 音质与声波

声波是由频率成分以及各成分的振幅和相位来规定的连续量，而音质却是通过人的听觉生理、由心理来确定的心理量。虽然从物理上说，这种心理量是连续的，但作为音质，有时却会变成各种其他的心理量。例如，有两个70dB，440Hz和441Hz的纯音，能听出1Hz的拍音。如果第二个纯音变为484Hz，则既能听出差为44Hz的拍音，也能听出声音变得不干净。继之使第二个纯音频率大于500Hz时，声音愈发浑浊。但频率为880Hz的倍频音时，又变成清澄的声音了。总之，音质会按某种频率关系从动态音质到静态音质急剧变化着。

然而，产生音质刺激的是声波，声波的各种基本性质与音质之间，常常能保持相当

普遍的某些关系。为了阐明音质，当然不能忘却作为刺激的声波的性质。

1.2.2 声波与音质

(A) 1~2成分音的情况

在声波与音质的关系中，问题非常之多，下面，先谈谈主要的几个问题。

声波波形是由其成分的频率、振幅和相位来决定的。当振幅一定而频率变化时，纯音的音质分布将象1.8.4所叙述的，从低音向高音呈弓形，其音高轴与美(mel)尺度的对数一致。

关于表1列出的六种等响度(60dB SPL)的双音(两个纯音的结合音)，用因子分析法求得它们的音质空间分布(采用成对比较法，由25名被试者按0、1、2、3四等，综合判断出音质的差别大小)。

- 声源1 等声级的最不协和音
- 声源2  $f_2$ 的声级比 $f_1$ 的低12dB
- 声源3  $f_1$ 的声级比 $f_2$ 的低12dB
- 声源4 等声级的倍频程音
- 声源5  $f_2$ 的声级比 $f_1$ 低12dB的倍频程音
- 声源6  $f_2$ 的声级比 $f_1$ 高12dB的倍频程音

表 1 信号音的物理特性与完全矩心法的因子分析结果

编号	声压级 (以57dB SPL为基准)			完全三组法			成对比较法		
	440Hz	484Hz	880Hz	协和性	音高	共振峰	协和性	音高	共振峰
1	0dB	0dB	-	-1.33	+0.09	+0.51	-2.84	-0.55	+0.09
2	0	-12	-	-1.16	-0.97	-0.67	-1.60	-1.60	+0.65
3	-12	0	-	-0.23	-0.46	+0.89	+0.24	+0.28	+3.00
4	0	-	0	+0.77	+0.74	-1.03	+1.57	+0.81	-1.55
5	0	-	-12	+0.62	-0.85	-0.56	+1.96	-1.18	-0.80
6	-12	-	0	+0.52	+1.63	+0.17	+0.70	+2.22	-0.70

作为表1的结果表示在图1中,可得到

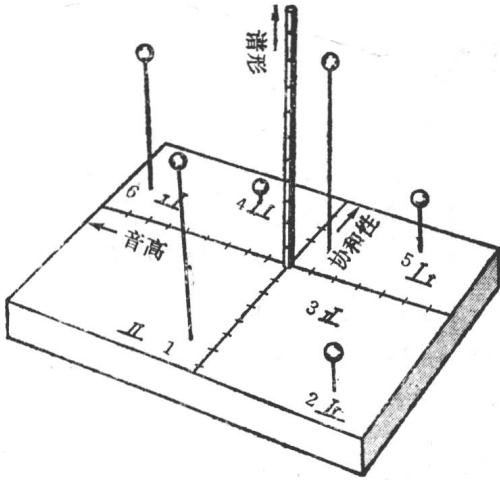


图1 双音的立体音质

协和性轴(CON.), 音高轴(pitch)和谱形轴(Spect.F)。音高轴与协和性轴不矛盾, 音源依顺序分布着。音高是6、4、1、3、5、2, 协和性是4、5、6、3、2、1, 谱形是3、1、6、5、2、4, 这恐怕是参照音的粗细、丰满度、元音性等来考虑的; 也许因为是综合属性, 而并不是单纯的。总之, 如果把谱形当作综合属性, 则这时对双音可考虑下面四种属性

- 1) 音的(响度)大小
- 2) 音高
- 3) 协和性
- 4) 谱形

从上述结果可见, 在持续音的情况下, 也可考虑上述四种属性或者更多的属性, 正如后面讲的协和性与平滑性(参见1·9·1)中所述, 音源中的两纯音频率 $f_1$ 和 $f_2$ 接近时, 变成差拍音, 属于动态持续音。协和性变化出现平滑性, 仍然是四个属性。声波虽然是连续的性质, 但心理上要加进别的属性。

在观察声波的成分音的变化时, 两成分的声级差、两成分频率的频率偏差值的不同的相互关系, 其各自的声级都有各自频率的问题。

#### (B)多成分音的情况

电子乐器是模仿自然乐器声而制成的, 最近, 由于比较清楚地知道了电波的来历与音质的关系, 而且合成器又普及, 所以制作合成音成了重点。(本来的目的就是追求新奇的声音)。

在这基本的演变中, 于是有谱形固定型(F.F)和移动型(M.F)两种。固定型是频谱包络与音程无关, 绝对的由频率决定。像唱歌时总保持一定的口形。移动型是各频率成分之比和包络不变, 各成分频率成为一体在对数轴上移动。

在图2中用两个例子来说明。固定型中, 各基音和倍音的声级变化(实线和点线), 根据协和性理论(参见1·9·4), 协和性会大大变化, 而最高声级成分600Hz附近的37dB的 $f_{3.0}$ 成分(特征频率)将变成 $f_{2.0}$ , 由于大体上保持着相同的特征频率, 所以由谱形看, 元音性是相似的。(关于元音性, 请参看2·1·4)在移动型中, 基音及其倍音的频率比以及声级都不变化, 所以协和性是相似的, 但特征频率从600Hz附近的 $f_{3.0}$ 升高到了900Hz附近的 $f_{3.0}$ , 元音性大大变了。

其次, 对钢琴和小提琴之类的自然乐器音来说, 高次谐波成分比基音的整数倍低(参见2·3·5与2·7·7)时, 它就变成了温暖而柔和的音, 可以认为, 这是由于残余者效应(参看1·5·1), 声压不集中在基频位置的缘故。再者, 自然乐器中, 每一倍音都受到复杂的调制变成具有自然性的音, 关于这些问题, 在下一编里从多方面论述。

还有, 我们知道, 综合波形会随各成分音的相位关系而变, 同时, 对1kHz以下的波形包络和波形自身的图形来说, 听觉是能够充分认识的(参见1·5·1), 所以相位关系不可忽视。

再有, 我们知道, 声音的建立和衰减图形会随各成分音的时间变化而变化, 不难明了, 这对单音的音质会有很大的功效(参看3·5·6)。

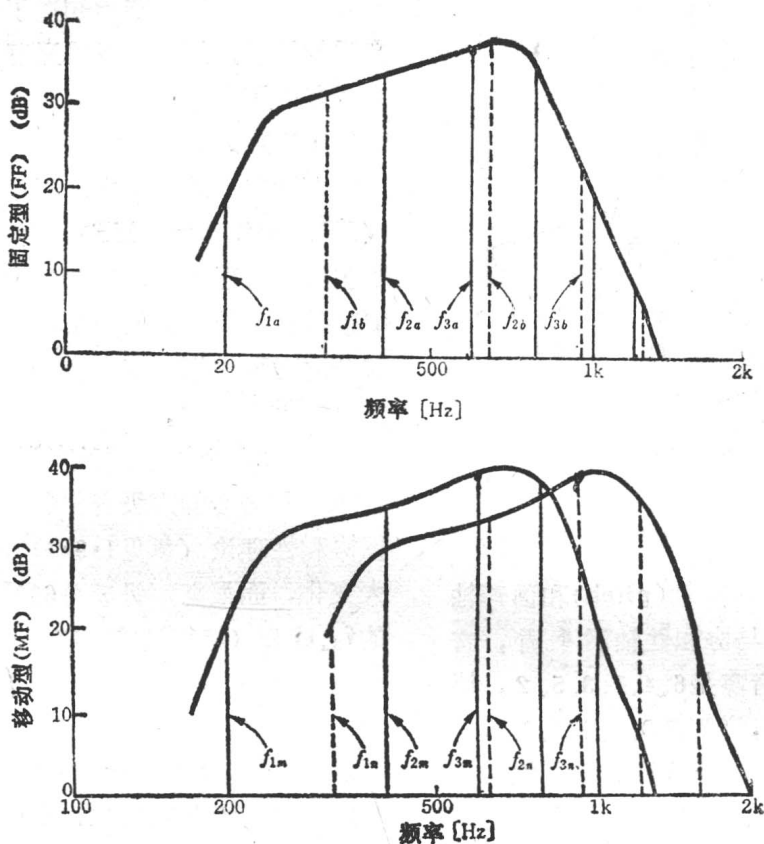


图2 固定型和移动型谱形

特别是拨弦乐器，在拨弦的一瞬间，声音有近于非周期的噪声和各谐波急剧衰减的声音，对音质有强烈的影响。对立体声来说，存在双耳效应。不但有时间差，也有相位差（参看1·11·2）。

关于音质与声波的问题，下面将会从多方面加以阐述，请参阅。

### 1·2·3 波形与频谱

前面说过(参见1·2·1)频谱是决定音色的重要因素。在有的基础书中曾写有波形决定音色。实际上，波形和频谱只不过是不同的角度来看同一振动现象。

在图1，将这一关系用模式加以表示。该图表示出付立叶(Fourier)所发现的如下事实：一切波形都可以由若干个频率的正弦波来合成，只要能在频率轴上或时间轴上把“声音”这种现象表示成一个函数，则可

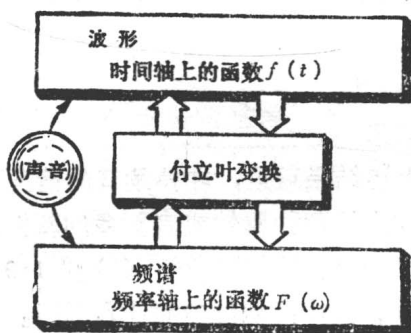


图1 波形与频谱

利用付立叶变换的数学方法相互变换。也就是说，时间轴上的波形可以由各频率成分的振幅与相位唯一地确定出来。

图2表示了若干个波形及与其相应的频谱(相位略去)。(a)是单一的稳态正弦波；(b)是单一正弦波的二倍频率之和；(c)是单一正弦波与其三、五倍频率的两个正弦波相加之和；(d)是锯齿波，这里，n倍频



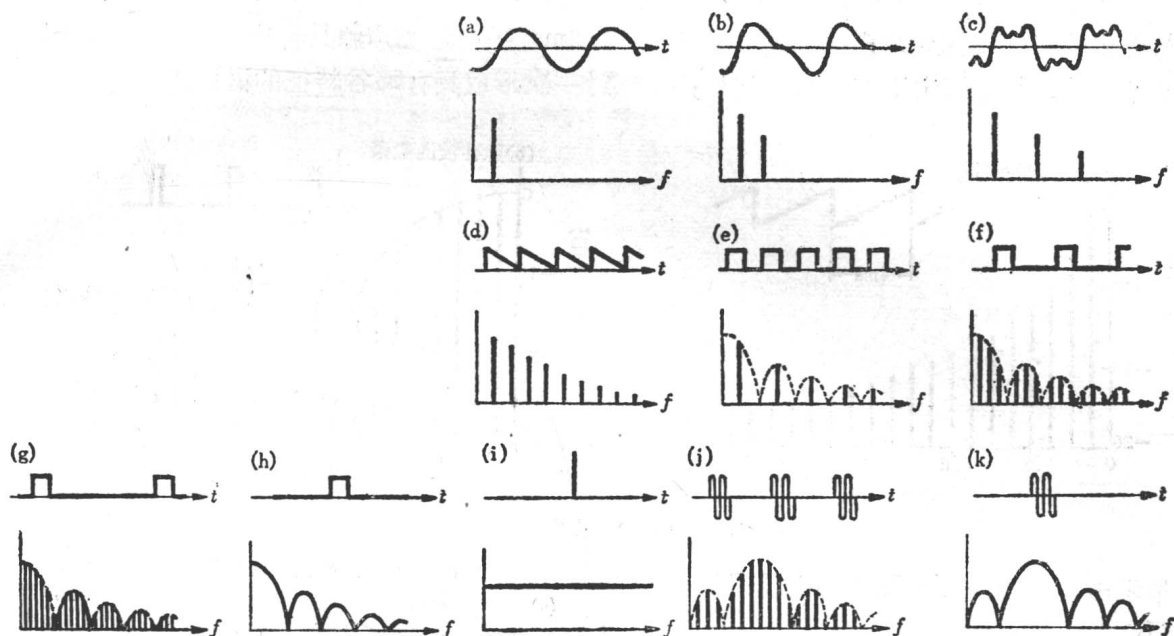


图2 波形与频谱例

率成分的振幅是基频的 $1/n$ 。象这类出现线状成分的频谱听线状频谱。

(e)是方波,可从(c)某种程度推测到,其频谱仅由奇次谐波构成;(f)是占空比不为1的方波,若脉冲宽度为 $\tau_1$ ,则形成在 $f_n = n/\tau_1$ 处有谷的谱包络,同时,还形成以重复频率 $f_r = 1/\tau_r$ 的高次谐波的频谱(参见1.2.4图1(b))。重复周期 $\tau_r$ 越大,谱的密度也越大,成了(g)的情况。更如(h)所示,如只有一个脉冲波,谱线则无限密集,成为连续谱。另外,此脉冲的宽度 $\tau$ 再无限变小,就成了(i)那样的成分宽广的平坦连续谱。

又,即使单一正弦波的情形像(j)那样成为猝发正弦波,其谱不是单一的线谱,而是取猝发波的重复频率为基频,使正弦波频率为包络顶点成为频谱结构。此包络的形状也和脉冲波时是同样的。当猝发波时像(k)那样成为孤立波时也就形成连续谱。

总之,一般说来,时间轴上的包络越窄,频率轴的包络就越宽;重复周期越长(在低音时)谱就越密。再者,波形越保持尖锐的上升沿形状所包含的高频成分就越多。

此外,单一正弦波的振幅或频率受其他信号调制时,频谱也展宽。这种展宽频带叫做边带(参见1.3.4),像乐器的颤音,给予听觉刺激一种柔和的愉快感(参见2.3.5);而像磁带录音机中由于振动等产生的调制噪声,给予人们不快之感,所以这类调制对音质起着很重要的作用。

至于相位在决定音质方面的重要作用,将在1.2.5节再加以说明。

#### 1.2.4 频谱的形成

在一个发声体中,必须具有声源部分共鸣部分和声波的辐射部分,频谱的各频率成分及其幅度就由这三部分决定。不过,多数情况下一个部分可兼其他目的。

##### (A) 声源部分

对具有音程的乐器音等来说,声源的作用是形成音高,倍音和一次性的频谱包络。而对于玻璃门的开闭声等没有音程的声音来说,声源部分的作用是在频率轴上形成没有周期性的许多频率成分。

小提琴的声源部分是弦与弓的摩擦部分,声源波形类似于锯齿波。而对双簧管之类的双簧乐器来说,嘴唇所夹的两片簧片是