



费建星 许尧南 编著

人民邮电出版社

# 电唱机及 高保真放音设备

# 电唱机及高保真放音设备

费建星 许尧南 编著

人民邮电出版社

## 内 容 提 要

本书首先较详细地介绍了各种唱片、电唱盘、拾音器的原理和性能，为设计高保真扩大机电路准备条件，接着介绍高保真扩大机中各部分电路，包括前置放大器、配合各种信号源的频率均衡器、音调控制、立体声平衡、等响度控制以及各种功率放大电路的原理、计算和具体电路，最后介绍了扬声器及音箱知识及实例。本书读者对象是无线电爱好者，也可供从事音响工作的专业人员参考。

## 电唱机及高保真放音设备

费建星 许尧南 编著

责任编辑：沈成衡

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32      1984年10月 第 一 版  
印张：17 8/32 页数：276      1984年10月河北第一次印刷  
字数：395千字      印数：1—43,800册

统一书号：15045·总2881-无6283

定价：1.70 元

## 前 言

随着人民生活和文化水平的不断提高，音响设备的高保真度(High Fidelity)化已被提到议事日程上来了。

在声音的高保真度记录和重放方面，唱片和唱机占有重要位置。现代唱片音域宽广、动态大、失真小、噪声低，是一种得到公认的高保真度节目源，因此本书以一定的篇幅介绍有关唱片的高保真度重放技术。

全书共分七章。第一章扼要介绍了高保真基础知识；第二章对唱片的发展、工作原理和录音特性等作了较详细的阐述，尤其着重唱片基础理论和重放失真的分析；第三、第四章由浅入深地介绍了电唱盘和拾音器的基本概念、结构和测试方法，以及使用维护等方面的知识；第五和第六章，分别对前置放大器和功率放大器的设计作了较全面的讨论，并举有较多的新颖电路实例；第七章讲述扬声器和扬声器箱，除了一般概况介绍外，还收集了可供业余制作参考的实例。

本书第一至第六章由费建星执笔；许尧南负责第七章的编写及全书的整理工作。由于我们水平及能力有限，难免存在缺点和错误，欢迎读者和同行批评指正。

在本书编写过程中，一直得到中国唱片公司和上海唱片分公司有关领导及同志们的鼓励和支持，谨此致谢。

作 者

一九八三年于上海

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| <b>第一章 高保真基础知识</b> ..... | 1  |
| 第一节 高保真含义 .....          | 1  |
| 第二节 声音的基本知识 .....        | 4  |
| 一、声音的三大要素 .....          | 4  |
| 二、声波的反射和混响 .....         | 12 |
| 第三节 高保真性能要求 .....        | 15 |
| 一、高保真节目源 .....           | 15 |
| 二、放音设备的性能和现状 .....       | 16 |
| 第四节 立体声知识 .....          | 19 |
| 一、立体声原理 .....            | 19 |
| 二、立体声重放 .....            | 21 |
| 三、仿四声道立体声 .....          | 24 |
| <b>第二章 唱 片</b> .....     | 27 |
| 第一节 唱片录音技术的发展 .....      | 27 |
| 第二节 唱片基础知识 .....         | 33 |
| 一、唱片的纹槽 .....            | 34 |
| 二、唱片的种类和尺寸 .....         | 38 |
| 三、国内、外唱片的代号和缩语解释 .....   | 44 |
| 第三节 唱片基础理论 .....         | 46 |
| 一、唱片声槽的线速度和波长 .....      | 46 |
| 二、唱片声槽的振幅和振速 .....       | 48 |
| 三、唱片刻录电平的限制 .....        | 50 |
| 四、唱片的重放失真 .....          | 57 |
| 五、唱片转速和放唱时间的关系 .....     | 68 |
| 六、唱片的录音频率特性 .....        | 69 |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 第四节 唱片制造过程 .....                       | 78  |
| 一、刻纹翻片 .....                           | 78  |
| 二、模版制造 .....                           | 86  |
| 三、唱片原材料和压片 .....                       | 88  |
| 四、唱片模版制造新工艺 .....                      | 90  |
| 第五节 立体声唱片 .....                        | 93  |
| 一、各种调制方式 .....                         | 93  |
| 二、 $45^{\circ}/45^{\circ}$ 立体声唱片 ..... | 95  |
| 三、立体声唱片的兼容性 .....                      | 98  |
| <b>第三章 电唱盘</b> .....                   | 100 |
| 第一节 电唱盘的组成 .....                       | 100 |
| 第二节 电唱盘的传动和变速 .....                    | 102 |
| 一、摩擦轮传动方式 .....                        | 103 |
| 二、带传动方式 .....                          | 104 |
| 三、直接传动方式 .....                         | 106 |
| 四、变速机构 .....                           | 108 |
| 五、转速微调 .....                           | 110 |
| 第三节 电唱盘用电机的性能要求和选择 .....               | 111 |
| 一、罩极式电动机 .....                         | 112 |
| 二、磁滞同步电动机 .....                        | 114 |
| 三、微型直流永磁电动机 .....                      | 116 |
| 四、无刷直流电动机 .....                        | 122 |
| 五、交流多极低速电动机 .....                      | 124 |
| 六、伺服控制电动机 .....                        | 125 |
| 第四节 电唱盘的其它部件和附件 .....                  | 130 |
| 一、转盘 .....                             | 130 |
| 二、面板和隔振装置 .....                        | 132 |
| 三、音臂升降装置 .....                         | 136 |
| 四、电唱盘的水平指示和调节装置 .....                  | 137 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 五、自动装置 .....           | 138 |
| 六、电唱盘的附件 .....         | 145 |
| 第五节 电唱盘的性能及其测试方法 ..... | 147 |
| 一、转盘的转速 .....          | 148 |
| 二、漂移特性 .....           | 150 |
| 三、负载特性 .....           | 152 |
| 四、信号噪声比 .....          | 153 |
| 五、晃抖率 .....            | 162 |
| 六、外部振动抑制性能 .....       | 165 |
| 七、电动机的温升 .....         | 168 |
| 第六节 电唱盘的使用和维护 .....    | 169 |
| 一、使用和维护 .....          | 169 |
| 二、传动部分的常见故障 .....      | 171 |
| 三、电动机的故障和维修 .....      | 172 |
| <b>第四章 拾音器</b> .....   | 177 |
| 第一节 拾音头的种类 .....       | 177 |
| 第二节 速度型拾音头 .....       | 179 |
| 一、动磁式拾音头 .....         | 180 |
| 二、磁感应式拾音头 .....        | 185 |
| 三、动铁式拾音头 .....         | 186 |
| 四、可变磁阻式拾音头 .....       | 187 |
| 五、电磁式拾音头的负载特性 .....    | 189 |
| 六、动圈式拾音头 .....         | 190 |
| 七、带式拾音头 .....          | 193 |
| 第三节 幅度型拾音头 .....       | 194 |
| 一、压电晶体式拾音头 .....       | 195 |
| 二、压电陶瓷式拾音头 .....       | 206 |
| 三、半导体拾音头 .....         | 212 |
| 四、电容式拾音头 .....         | 216 |

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| 五、驻极体式拾音头 .....          | 219        |
| 六、光电子式拾音头 .....          | 223        |
| 第四节 音臂 .....             | 224        |
| 一、音臂的作用 .....            | 224        |
| 二、音臂的种类 .....            | 225        |
| 三、音臂和循迹误差 .....          | 228        |
| 四、音臂的内侧力 .....           | 233        |
| 五、音臂的横向平衡 .....          | 236        |
| 第五节 拾音器的技术性能及其测试方法 ..... | 237        |
| 一、输出电平 .....             | 238        |
| 二、左右声道输出电平差 .....        | 240        |
| 三、频率特性 .....             | 240        |
| 四、声道分隔度 .....            | 243        |
| 第六节 唱针 .....             | 245        |
| 一、针尖和针臂 .....            | 246        |
| 二、针尖和唱片声槽的关系 .....       | 251        |
| 三、唱针的磨损和寿命 .....         | 252        |
| <b>第五章 前置放大器</b> .....   | <b>255</b> |
| 第一节 前置放大器的组成 .....       | 255        |
| 第二节 输入放大级的设计 .....       | 258        |
| 第三节 配合速度型拾音头的均衡网络 .....  | 271        |
| 第四节 配合放音磁头的均衡网络 .....    | 277        |
| 第五节 音调控制器 .....          | 280        |
| 一、音调控制器的分类 .....         | 280        |
| 二、倾斜型 CR 衰减式音调控制电路 ..... | 282        |
| 三、低失真反馈式音调控制电路 .....     | 294        |
| 四、现场型和图解型音调控制电路 .....    | 296        |
| 第六节 电子电感器及其应用 .....      | 302        |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| 一、基本工作原理 .....         | 302        |
| 二、具体应用 .....           | 306        |
| 第七节 幅度型拾音头的频率均衡 .....  | 311        |
| 一、幅度型拾音头的放音特性 .....    | 311        |
| 二、配合幅度型拾音头的均衡网络 .....  | 315        |
| 三、压电型拾音头的频率均衡 .....    | 318        |
| 四、压电型拾音头信号的放大 .....    | 320        |
| 五、压电型拾音头信号的转录 .....    | 324        |
| 第八节 前置放大器的附属控制机构 ..... | 336        |
| 一、节目源选择开关 .....        | 336        |
| 二、工作方式转换开关 .....       | 339        |
| 三、立体声平衡控制 .....        | 342        |
| 四、响度补偿 .....           | 345        |
| 五、高通和低通滤波器 .....       | 350        |
| 第九节 前置放大器实例 .....      | 358        |
| <b>第六章 功率放大器</b> ..... | <b>363</b> |
| 第一节 功率放大器基本电路 .....    | 364        |
| 一、功率放大器的工作状态 .....     | 364        |
| 二、功率放大器的电路形式 .....     | 366        |
| 三、功放输出级的工作原理 .....     | 374        |
| 四、推动级 .....            | 387        |
| 五、前置推动级 .....          | 394        |
| 六、偏置电路 .....           | 400        |
| 七、功率放大器的输入级 .....      | 405        |
| 第二节 晶体管功率放大器的失真 .....  | 408        |
| 一、晶体管功率放大器的音质 .....    | 408        |
| 二、甲类功率放大器的失真 .....     | 409        |
| 三、乙类功率放大器的失真 .....     | 414        |
| 四、功率放大器失真的新见解 .....    | 419        |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 第三节 20 瓦互补对称功放电路设计 .....             | 424        |
| 一、输出级设计 .....                        | 425        |
| 二、推动级设计 .....                        | 433        |
| 三、前置推动级设计 .....                      | 437        |
| 四、偏置电路设计 .....                       | 441        |
| 五、输入级设计 .....                        | 443        |
| 第四节 晶体管功率放大器实例 .....                 | 452        |
| 一、3 瓦甲类 OTL 功率放大器 .....              | 452        |
| 二、5 瓦准互补 OTL 功率放大器 .....             | 455        |
| 三、8 瓦(20 瓦和 70 瓦)恒流源 OCL 功率放大器 ..... | 457        |
| 第五节 BTL 和集成功率放大器 .....               | 467        |
| 一、BTL 功率放大器 .....                    | 467        |
| 二、集成功率放大器 .....                      | 474        |
| 第六节 电子管功率放大器 .....                   | 482        |
| 一、直耦式 3 瓦电子管功率放大器 .....              | 482        |
| 二、8 瓦电子管功率放大器 .....                  | 485        |
| 第七节 功率放大器的发展 .....                   | 489        |
| 一、高速功率放大器 .....                      | 489        |
| 二、直流功率放大器 .....                      | 495        |
| 三、输出级用场效应管的 100 瓦功率放大器 .....         | 502        |
| <b>第七章 扬声器和扬声器箱 .....</b>            | <b>505</b> |
| 第一节 扬声器的种类 .....                     | 505        |
| 第二节 电动式扬声器的工作原理和构造 .....             | 509        |
| 第三节 扬声器的主要技术性能 .....                 | 512        |
| 第四节 扬声器组合方式和分频电路的设计 .....            | 515        |
| 第五节 扬声器箱简介 .....                     | 522        |
| 第六节 扬声器箱制作实例 .....                   | 527        |
| 第七节 扬声器箱的调试与试听 .....                 | 536        |

# 第一章 高保真基础知识

## 第一节 高保真含义

声音的高保真记录和重放，一直是电声工作者和广大业余爱好者向往的目标，尤其在密纹唱片和调频广播问世以后，高保真水平有了明显提高，愈益引起有关方面的关注和重视。随着电声技术的进展，人们对高保真的追求迄今方兴未艾。

高保真的英语为 high—fidelity，通常简称 Hi—Fi[<sup>ˈ</sup>hai <sup>ˈ</sup>fai]。高保真一词于五十年代就已广为流传，也叫高传真度，起初主要用来表征密纹唱片及其放音设备的性能状况—诸如频响宽广，失真小、噪声低，由此重放的声音质量优美动听。到了六十年代，高保真的含义日臻完善，除了对影响音质的设备性能指标提出更为严格的要求以外，还特别强调原始声场的再现，以使聆听者能够判别演员和各种乐器在“声象舞台”上的位置和排列，产生身临其境的感觉。

人耳感受到的声音，是由于空气质点受到振动，形成声波而引起的。声波在空间中衰减很快，故它不能传播得很远。若要把在音乐厅或录音棚等演奏现场听到的声音传播给较远的另一方，必须首先将声波转换成电信号，然后通过电路传输系统，传到对方，在该处用专门设备再把电信号还原成声波。这一通信过程可用图 1-1 来表示。这当然是一个最基本的示意图。若要再现原始声场，图中换能器S(传声器)和Y(扬声器)

的数量至少在两个以上，传输系统也应该拥有运载两路以上信息的能力。信息的传输既可以是即时的一如现场广播等，也可经唱片、磁带记录下来，为以后重放使用。

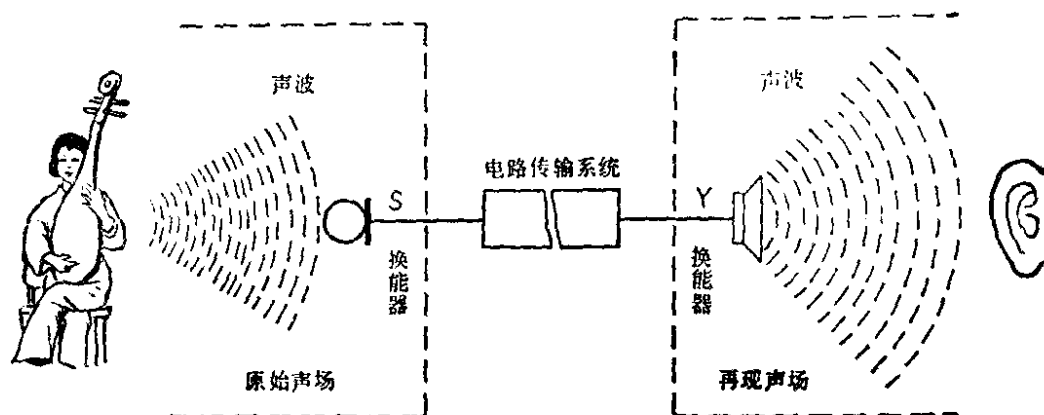


图 1-1 声音传输过程

由上所述，在演奏现场听到的声音，经过检拾、换能、传输和还原过程以后，与重放声音之间必然会产生是否真实一致的问题。仅此意义上来说，所谓高保真重放，是指换能器、传输系统和听音场所，不仅不存在任何会引起声音要素(音色、音调、音量等)发生变化的失真，而且能如实地再现原始声场。

评价重放的声音是否达到高保真，似乎可以将重放的情况与演奏现场的声音进行对比。但是如前所述，声音瞬息即逝，实际上是难以办到的。何况，除了音响导演和录音工程师等专业人员以外，多数人在现场听取的机会极少。即便有之，也只能以残留的主观印象与重放声音进行比较，会受到情绪、爱好和习惯等复杂的心理领域的影响，见图 1-2。

另一方面，电声设备性能指标优良，固然能在一定程度上表明高保真度，可是现有的对电声设备客观物理量的测定技术，还不足以表明事物的全部，与主观的听音评价结果有时不尽一致。因此，关于高保真度重放的比较确切的含义，应该

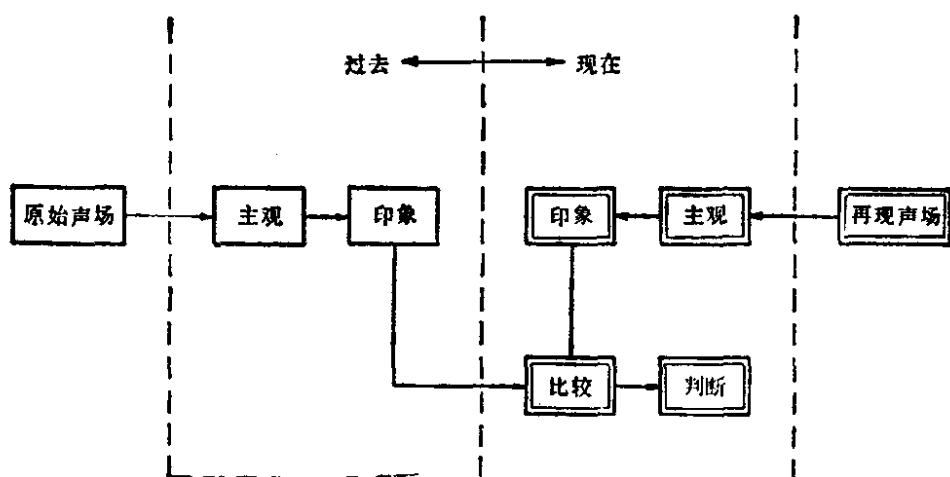


图 1-2 心理领域的影响

是：建立在客观物理量基础上的、得到大多数具有高度听感者确认的音质。

对于广大爱好者来说，所谓高保真度，主要是指用音响重放系统(图 1-3)尽可能如实地重放唱片、广播和磁带等节目源

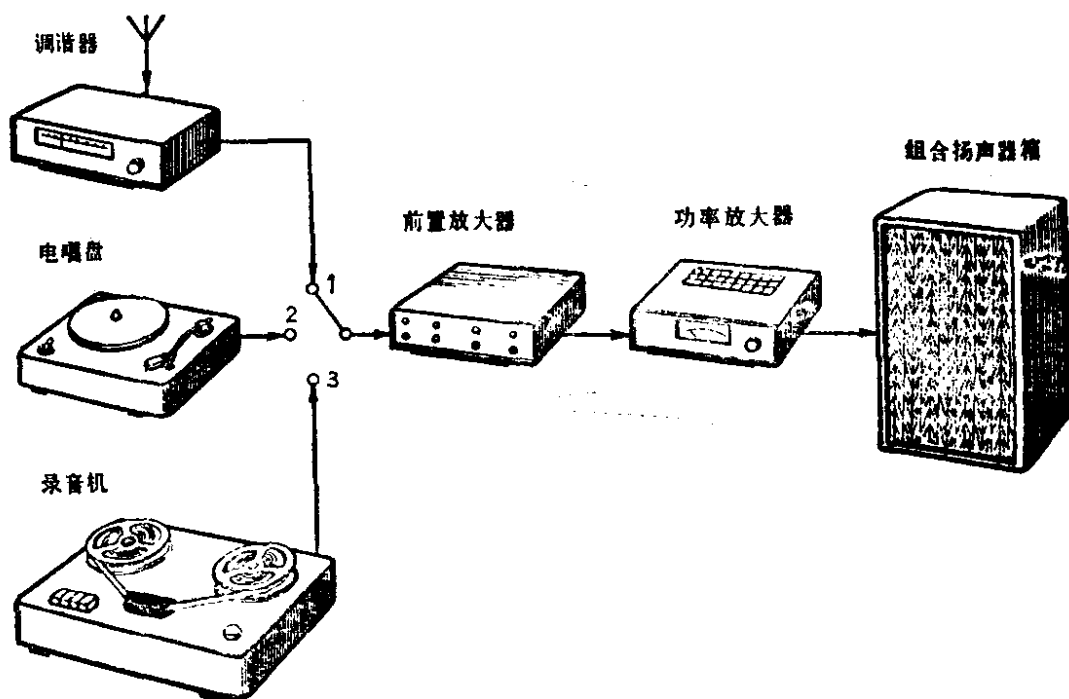


图 1-3 音响重放系统

所载有的声音信息。当然，在重放系统中也包含对重放声音进行必要的修饰和加工，按照主观需要给予美化。

## 第二节 声音的基本知识

### 一、声音的三大要素

在人们日常生活中，习惯于用音量大小、音调高低和不同的音色来区别各种声音的性质。声音的特征主要是通过音量、音调和音色三大要素来表现的。因此，了解它们的物理概念及其与听觉的关联，对声音的高保真度记录和重放至关重要。

#### 1. 音量

物体在空气中振动形成声波，声波刺激耳膜使人产生声音的感觉。声波振幅大，人耳感受到的音量大声音响；反之，音量小声音轻。音量大小声音轻响是人们的主观感觉，而表示声音能量大小的客观物理量则是声波强度——指在声场中某一点，与声波行进方向垂直的单位面积内，在单位时间内通过的声能。

声波强度的常用单位为瓦/厘米<sup>2</sup>。当频率为1000赫时，人耳最低可闻的声波强度为 $10^{-16}$ 瓦/厘米<sup>2</sup>，而声波强度超过 $10^{-4}$ 瓦/厘米<sup>2</sup>时，人耳将感到疼痛。为了对声波强度进行比较，人们把最低可闻的声波强度 $I_0$ 作为参考基准，称零水平声波强度，即取 $I_0$ 等于零分贝。因此，使人耳产生疼感的声强水平分贝数为：

$$N(\text{分贝}) = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \lg \frac{10^{-4}}{10^{-16}} = 120 \text{分贝}$$

为对声波强度有感性认识，现将日常生活中听到的各种声

音的声强分贝数列于表 1—1，以供参考。

表 1-1

声强参考分贝数

| 声 强 (分贝) | 声 音 种 类      |
|----------|--------------|
| 0        | 最小可听值        |
| 10       | 微风吹拂树叶的声音    |
| 20       | 小溪流水声        |
| 30       | 郊外住宅附近       |
| 40       | 市内安静场所       |
| 50       | 一般会话         |
| 60       | 街道食堂         |
| 70       | 市内电车、汽车通过的街道 |
| 80       | 一般机械车间内部     |
| 90       | 嘈杂车间内部       |
| 100      | 地铁站台 (机车驶过时) |
| 110      | 消防车警笛        |
| 120      | 最大可听值        |

实际上，人耳只对声波压力起作用。计算表明，对于自由声波，与零水平声波强度  $I_0$  相应的声波压力  $p_0 = 0.000204 \approx 0.0002$  达因/厘米<sup>2</sup>，达到疼痛感觉时的声压  $P = 200$  达因/厘米<sup>2</sup>，即  $N(\text{分贝}) = 10 \lg I / I_0 = 20 \lg P / P_0$ 。可见，就物理量来说，声强水平和声压水平是相一致的。因此，除声强水平以外，人们在更多的场合用声压水平(SPL)来度量声音的大小。此时零水平声压应为 0.0002 达因/厘米<sup>2</sup>，也即为 0.0002 微巴 (1 微巴 = 1 达因/厘米<sup>2</sup>)，等于参考基准零分贝。

图 1-4 是人耳的听野特性曲线。由图可看出，频率为 1000 赫时，由最小到最大可听范围，若以声压水平的变化范围计，约为 120 余分贝。一般会话时的声压水平约为 30 至 75 分贝，变化范围在 45 分贝左右；音乐的声压水平约为 30 至 100 分贝，

变化范围为 70 分贝。

由图 1-4 还可明显看出，除声压水平以外，人耳对声音轻响的感觉还与频率有着密切关系。例如，当频率由 1000 赫降低至 40 赫时，最小可听的声压水平竟然要由零分贝提高到 60 分贝左右，否则将听不见这一 40 赫声音。由图中可看出，在声压水平较低时，人耳对低频和高频的响应较中间频率时要不灵敏，尤其是低频端更为显著。但是，随着声压水平的提高，上述现象会有所改善。如同图所示，在接近最大可听限度时，1000 赫和 40 赫的声压水平已相差无几。

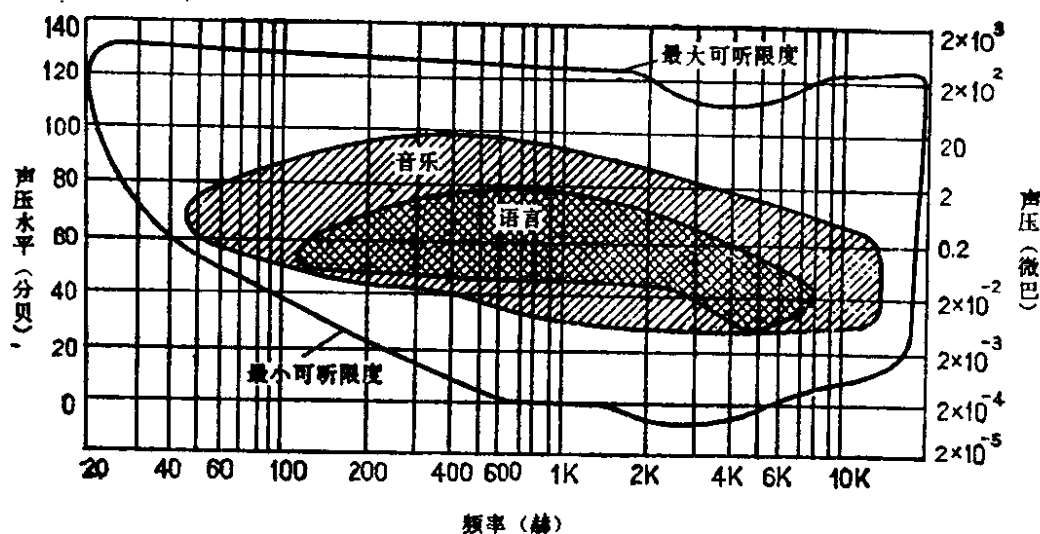


图 1-4 人耳听野特性

经过长期实践，人们用另一比较确切的主观特性——等响曲线，来表明人耳听到的声音响度与声压水平和频率之间的关系，如图 1-5 所示。

所谓等响曲线，简言之是指不论频率变高或是变低，该曲线各点的响度水平相等，即听起来都一样响。每条曲线代表某一响度水平（用单位昉来表示），并以 1000 赫纯音作为参考音。例如同图所示，声压水平为 60 分贝的 60 赫纯音，其响度为 20 昉，听起来与声压水平为 25 分贝的 500 赫纯音一样响，

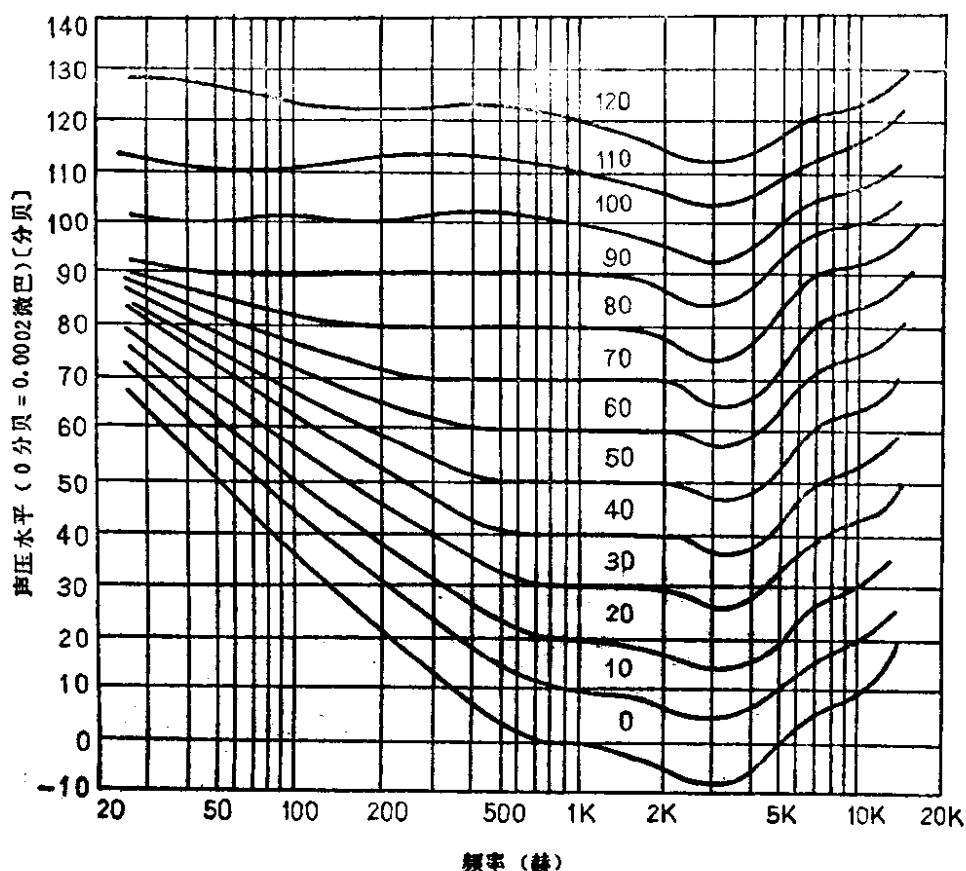


图 1-5 纯音等响曲线

属响度水平为 20 方的等响曲线，无疑该曲线在 1000 赫时的声压水平必定为 20 分贝。

由等响曲线还可知，如果重放时音量不足，声压水平过低，那么尽管电声放大系统的频率特性相当平直，也会感到缺乏高、低音，尤其是缺乏低音。在此情况下，就需要对响度作出补偿。

## 2. 音调

音调也是人们对声音的一种主观感觉，它决定声音在音阶中的位置，有音调低的低音和音调高的高音。音调的高低，和物体在单位时间内的振动次数有着密切关系。例如，大的音叉振动频率低，声音低，听到的音调低；小的音叉振动频率高，