

数字音频技术原理及应用

SHUZI SHENGPIN JISHU YUANLI
JI YINGYONG

张绍高 主编

国防工业出版社

数字声频技术原理及应用

张绍高 主编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

数字声频技术原理及应用/张绍高主编. —北京:国防工业出版社, 2000. 7

ISBN 7-118-02227-6

I. 数… II. 张… III. 语音数据处理-数字技术
IV. TN912.34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 10407 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19½ 446 千字

2000 年 7 月第 1 版 2000 年 7 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

声频技术从 1877 年美国爱迪生(Edison)发明圆筒留声机算起,已经经历了一百多年。在前一百年期间一直是以模拟声频技术(Analogue Audio Technique)为主的。1953 年日本等国开始研制数字录音机,直到 1977 年日本市场上开始出售与 β -max 型家用录像机配合的 PCM(Pulse Code Modulation,脉冲编码调制)声频适配器(Adapter),才实现了数字录音。可以认为,声频技术在经历整整一百个年头后,开始进入数字声频技术(Digital Audio Technique)的新阶段。目前数字延时混响器等声频处理设备、激光唱片(CD)、专业用 PCM 录音机、小型数字盒式磁带录音机(DAT)、微型唱片(MD)等以诱人的优良性能,正在不断取代模拟设备,加快了声频技术趋向数字化的进程。

最近数字声音广播已在许多国家开播,我国广东省佛山市、广州市和中山市也已试播。高清晰度宽屏幕环绕声数字电视也已在一些国家开始试播。可录一次的光盘和可消可录光盘的记录密度不断提高,已可在直径 12cm 的盘面上记录十几兆波特的信息。最有希望的半导体快闪存储器的容量也在快速提高,这种无转动器件的存储器受到人们青睐。一个崭新的数字声频的美好前景即将展现在我们面前。

为了使广大无线电爱好者和发烧友等能了解数字声频技术的基本原理及其应用,根据作者多年从事这方面教学的心得和作者近几年来在一些期刊上发表的文章编写成此书。为了便于读者阅读,本书对模拟声频也作了一些叙述,这不仅有助于读者了解模拟和数字声频技术两者的联系,也有助于两者的对比。另外,本书尽量避免使用较高深的数学,即使对数字滤波器、1 比特数/模(D/A)变换器部分也是如此。

希望本书能对推广数字声频技术知识起到一定作用。由于作者水平有限,编写时间仓促,难免会有不恰当甚至错误之处,希望广大读者批评指正。

参加本书编写的还有张学恩、盖宝华、刘景秀等。

编 者

目 录

第一章 从模拟声频到数字声频	1
第一节 声音与人耳听觉	2
一、声音和声波	2
二、人耳的听觉范围	4
三、声音三要素	5
四、噪声	12
五、声波的传播	13
六、人耳的几种效应	15
第二节 模拟唱片技术	19
一、模拟唱片技术的发展过程	19
二、模拟唱片的录制	21
三、模拟唱片的重放	22
第三节 模拟磁性录音技术	24
一、铁磁性材料的起始磁化曲线和磁滞回线	25
二、直流消音和直流偏磁录音	29
三、交流消磁与交流偏磁录音	32
四、磁带放音原理	34
五、磁头和磁带	37
六、磁带录音机	38
第四节 声频技术及特性指标	40
一、声频技术	40
二、电平	40
三、声频设备特性指标	42
第五节 数字声频技术的概念	43
一、模拟和数字	43
二、数字录音、放音的系统图	44
第二章 声频信号的数字化	46
第一节 取样	46
一、取样定理	46
二、取样频率	47
三、混叠的防止	47
四、取样保持电路	48
五、取样产生的孔径效应(Aperture Effect)	49
第二节 量化	52
一、量化的概念	52

二、量化噪声	53
三、量化噪声的减低	54
第三节 编码	56
第四节 调制	58
一、调制的概念和种类	58
二、调制方式希望具有的条件	61
三、调制方式的特性参数	62
第五节 A/D 变换器与 D/A 变换器	63
一、A/D 变换器	63
二、D/A 变换器	67
三、变换器的特性	69
第三章 数字信号的检错、纠错及模拟信号的恢复	71
第一节 误码和交织	71
一、误码的种类和产生的原因	71
二、眼图(Eye Pattern)	72
三、帧同步(Frame Synchronization)	73
四、交织	74
第二节 检错与纠错	74
一、奇偶校验	74
二、简单的交叉交织码	75
三、改进型交叉交织码	77
四、循环冗余校验码(CRCC)	77
五、邻接码	80
六、里德—索罗门码	81
七、误码的隐蔽	86
八、码间距离与纠错能力	87
第三节 模拟信号的恢复	88
一、窗口电路	88
二、解调低通滤波器	88
第四章 数字滤波器与 1 比特 D/A 变换器	90
第一节 数字滤波器	90
一、“ Z^{-1} ”的意义	90
二、 Z 变换	92
三、卷积	93
四、数字滤波器频率特性的求法	94
五、两种数字滤波器	96
第二节 1 比特 D/A 变换器	98
一、过取样方式	98
二、多比特方式的原理性缺点	100
三、无线性失真的 1 比特方式	100
四、比特流方式 1 比特 D/A 变换器	103
五、噪声整形	104

六、2 次噪声整形	107
七、多级噪声整形的基本形式	108
八、2 级 3 次噪声整形	109
九、 $\Sigma\Delta$ 调制器	110
十、不同微分次数的电路	111
十一、量化器可以是任意比特	112
第五章 高效率编码	115
第一节 高效率编码的可能性	115
一、信号的信息量和传输容量	115
二、声频信号的信息量	116
第二节 各种高效率编码	117
一、瞬时压扩与准瞬时压扩	118
二、预测编码	121
三、熵编码	121
四、自适应 PCM(APCM)	124
五、自适应差分 PCM(ADPCM)	124
六、 ΔM 与自适应 ΔM	125
第三节 利用人耳听觉特性的高效率编码	126
第六章 PCM 磁带录音机	129
第一节 两种 PCM 磁带录音机	129
第二节 旋转磁头 PCM 磁带录音机	130
一、非专业用 PCM 处理器	130
二、专业用 PCM 处理器	131
第三节 固定磁头 PCM 磁带录音机	134
一、1/4 英寸两声道数字录音机	135
二、多声道数字录音机	142
三、数字磁带录音机使用时的注意事项	146
四、薄膜磁头	146
第四节 时间码在磁带录音机中的应用	147
一、时间码简介	147
二、时间码的记录	148
三、同步联锁	158
四、时间码在电子编辑中的应用	150
第七章 小型盒式数字磁带录音机(DAT)	151
第一节 R-DAT 的规格	151
一、R-DAT 的参数	151
二、R-DAT 的磁迹格式	152
第二节 DAT 的磁带盒和走带机构	155
一、DAT 磁带盒	155
二、预录带	156
三、DAT 磁带	157
四、DAT 的走带机构	157

第三节 DAT 记录和重放中的几点措施	159
一、间断记录与数据的时间压缩	159
二、8/10 变换	159
三、无消磁头的直接重写	160
四、采用隔行扫描方式记录	160
五、自动循迹(ATF)	161
第四节 DAT 的伺服系统和子码	163
一、DAT 的伺服系统	163
二、DAT 的子码	164
三、DAT 录放系统的组成	167
四、专业用 DAT	167
第五节 串行复制管理系统(SCMS)	168
一、什么是 SCMS?	168
二、R-DAT 磁迹中主 ID 的 ID6	169
三、数字输出接口	169
四、SCMS 的处理过程	170
第六节 S-DAT	172
一、主要参数	172
二、磁迹位形	172
三、磁带盒	172
四、信号的记录	173
第七节 ADAT 简介	174
第八章 NT 型和 DCC 数字盒式磁带录音机	176
第一节 微型数字盒式磁带录音机(NT 型机)	176
一、NT 型机的特点和规格	176
二、NT 型机的非装带和非循迹方式	177
第二节 DCC 盒式数字磁带录音机	181
一、DCC 的特点	181
二、DCC 盒式磁带	182
三、DCC 录音机的磁头	183
四、DCC 的文字显示功能	185
第三节 DCC 的信号处理方式 PASC	187
一、PASC 编码器的工作过程	187
二、PASC 解码器的工作过程	191
三、关于信号多次通过 PASC 会不会失落的问题	191
第四节 DCC 录音机	192
第九章 激光唱片与唱机	194
第一节 激光唱片	194
一、激光唱片的录制	194
二、激光唱片信息的形成	199
三、有关激光唱片的几个问题	207
第二节 激光唱机	209

一、激光唱片信号的拾取	209
二、透镜的数值孔径(NA)	210
三、信号处理电路	212
四、激光拾取器	213
五、聚焦及循迹控制	215
六、激光拾取器移动机构	218
七、激光唱机的种类	219
第三节 CD 家族的规格书	222
一、红皮书(Red Book)	223
二、黄皮书(Yellow Book)	224
三、绿皮书(Green Book)	225
四、白皮书(White Book)	226
五、橙皮书(Orange Book)	227
第十章 可录光盘	229
第一节 可录一次的光盘——CD—R	229
一、CD—R 的种类	229
二、构造	229
三、CD—R 的记录	230
四、CD—R 与 CD 的异同	230
五、CD—R 的规格和一种 CD—R 的部分技术指标	232
第二节 可改写光盘	233
一、磁光盘	233
二、相变型可改写光盘	234
第三节 微型唱片(MD)	238
一、MD 的规格	238
二、MD 的构造	239
三、MD 的录音原理	241
四、激光拾取器	242
五、调制及纠错	243
六、压缩编码方式	244
七、防震存储器	244
八、MD 唱机	245
九、自适应变换听觉编码(ATRAC)	247
第十一章 数字通用光盘(DVD)	250
第一节 视频信号的记录	250
一、电视图像信号的形成	250
二、模拟活动图像信号的记录	253
三、电视图像信号的数字化	255
第二节 从高密度多媒体 CD 到 DVD	256
一、MMCD 的构造	256
二、MMCD 的制作过程	257
三、MMCD 的应用	258

四、两种高密度光盘的统一	259
五、提高密度的措施	259
六、EFM plus 方式	260
第三节 DVD 系统的概况	262
一、DVD—Video 的特点	262
二、DVD 光盘的构造	263
第四节 DVD 与 CD 两用光拾取器	265
一、双焦点物镜方式	265
二、液晶光阀方式	266
三、五角棱镜方式	266
四、切换物镜方式	266
五、在物镜上开有环形沟的方式	267
第五节 DVD—RAM 容量的提高	268
一、DVD—RAM 磁光盘容量的提高	268
二、相变型 DVD—RAM 光盘容量的提高	273
第六节 MPEG 高效率音频编码	275
一、MPEG(活动图像专家组)音频标准的组成	275
二、MPEG—1 音频算法	276
三、MPEG—2 音频标准	278
四、对 MPEG 音频标准的音质主观评价	280
第七节 杜比 AC—3 音频编码	280
一、概况	281
二、应用	281
三、发展	283
第八节 DVD—Audio	284
一、两种高密度 CD 简介	284
二、两种高密度 CD 的特点	286
三、对版权采取的保护措施	287
第十二章 数字音频工作站	288
第一节 数字音频工作站的概念及其组成	288
一、数字音频工作站的概念	288
二、主机	288
三、数字音频处理器	288
四、音频接口	289
五、磁盘存储器	289
第二节 音频工作站的功能	290
一、录制 DAW	290
二、节目单编制 DAW	291
三、播出 DAW	291
第三节 音频工作站系统	292
一、分布式音频工作站系统	292
二、集中式音频工作站系统	292

第十三章 数字声频广播	294
第一节 模拟调幅、调频广播简介	294
一、调幅和调幅广播	295
二、调频和调频广播	296
三、调相	298
第二节 数字调频广播	298
第三节 数字调幅广播	299
一、DMW 系统	299
二、天波 2000 系统	300
三、系统 B	300
参考文献	300

第一章 从模拟声频到数字声频

数字技术是当今蓬勃发展的一项重要技术。但早在 19 世纪初期,在通信领域就已应用了数字技术。那时,发信方将信息传送给远距离的收信方,已经采用了编码的方法。莫尔斯(Morse)码是其中的典型例子。这种数字传输技术是将要传送的文字信息采用两种长短不同的码的组合,以“的的嗒—”的方式进行发送。莫尔斯码除英文字母外,还可表示数字等。图 1-1 示出了英文字母的莫尔斯编码。

A	— — — — —
B	— — — — —
C	— — — — —
D	— — — — —
E	— — — — —
F	— — — — —
G	— — — — —
H	— — — — —
I	— — — — —
J	— — — — —
K	— — — — —
L	— — — — —
M	— — — — —
N	— — — — —
O	— — — — —
P	— — — — —
Q	— — — — —
R	— — — — —
S	— — — — —
T	— — — — —
U	— — — — —
V	— — — — —
W	— — — — —
X	— — — — —
Y	— — — — —
Z	— — — — —

图 1-1 英文字母的莫尔斯码

如果发送机、接收机和传输线路状态不良,使所传输的信号产生失真或混入噪声时,只要收信端能够判断出信号的长短,就可以正确了解发信方的信息。这种方法从读取的精度来考虑,1 分钟只能传送几十个字。

随后,人们开始考虑对声音的波形直接进行传输的模拟声音传输方式。所谓模拟,就是指“模仿”声音波形来改变电流(或电压)大小的意思。1876 年由贝尔(Bell)发明了电话;1877 年由爱迪生(T. Edison)发明了留声机,从此开始了模拟声频技术发展的历程。

声频技术是以声波(声频信号)为对象的一门技术,因此,读者应掌握声波(声音)的基

本性质。对于客观声音的人耳主观感受,即人耳听觉特性的理解,有助于对数字音频信号压缩编码的认识。本章第一节就是叙述声波和人耳听觉特性的。第二、第三节分别简要介绍了模拟唱片录音、重放技术和模拟磁带录音、重放技术的原理,以有助于了解录音技术的发展和与数字录音技术性能的对比。另外,对音频技术指标的定义是了解音频设备性能的必要手段,因此,特设一节加以介绍。

第一节 声音与人耳听觉

一、声音和声波

声音是由物体振动产生的。振动发声的物体称为声源。声源发出的声音可以由固体、液体或气体等媒质来传播。通常声音是通过空气传播的。图 1-2 所示为扬声器(即俗称的喇叭)振动发声时通过空气传播的示意图。

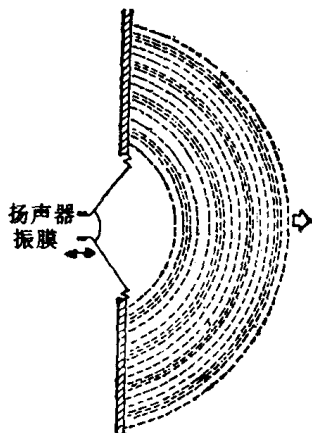


图 1-2 扬声器振动发声时通过空气传播的示意图

在空气中,声源的振动会使周围的空气质点产生一定的疏密变化,并以一定速度传播出去,形成声波。因此声波是疏密波,也称为纵波。

1. 声压

包围地球表面的大气层,随高度的不同而存在不同的大气压强。地面的静态大气压强,在温度为 0℃ 时,约为 101300 帕斯卡(Pa)。1Pa 等于每平方米上 1 牛顿(N)的压力,即 N/m^2 。有声音存在时,大气压强会有微弱的起伏变化,即在静态大气压强上叠加了变化的分量。这个变化的分量称为声压,以 p 表示,单位为 Pa。通常声压的大小,用它的有效值 P 来表示。有效值是指将变化的声压瞬时值平方后求得的平均值。图 1-3 所示为声波引起的空气疏密与气压变化。

如果声压作简谐(正弦或余弦)变化,则声压的有效值 P 为

$$P = \frac{1}{\sqrt{2}} P_m$$

式中, P_m 为声压的振幅(即最大值)。

人耳刚好能听到的声压约为 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 。在房间中大声说话,在相距 1 米(m)处的声

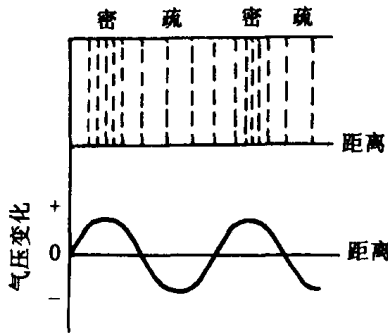


图 1-3 声波引起的空气疏密与压强变化

压约为 0.05~0.1Pa;飞机强力发动机发出的声音,在相距 5m 处的声压约为 10²Pa。

2. 声速、频率、周期和声波波长

声波在 1 秒(s)间所传播的距离称为声速,以 c 表示,单位为米/秒(m/s)。

0℃时,1 个大气压的空气中, $c = 331.5\text{m/s}$ 。 c 值几乎不受气压影响,但会受温度变化的影响。温度为 $t\text{℃}$ 时

$$c = 331.5(1 + t/273)^{1/2} \approx 331.5 + 0.6t \text{ (m/s)}$$

在室温(15℃时)下, c 约为 340m/s。

当声源作周期性振动,即作每隔一定时间,振动状态重复一次的振动时,所发出的声波也是作同样的周期性振动。我们将声源或声波每秒钟内的振动次数称为声音的频率,以 f 表示,单位为赫兹(Hz)。1000Hz = 1kHz^①。

周期性振动完成一次振动所需的时间称为周期,以 T 表示,单位为秒(s)。很明显,频率和周期是互为倒数的,即 $T = 1/f$ 。人耳能听到的声音频率范围为 20Hz~20kHz。声波每振动一次所走过的距离称为声波的波长,以 λ 表示,单位为米(m)。声波频率 f 、声速 c 和声波波长 λ 之间具有

$$\lambda = c/f$$

的关系。

一些频率声波的波长如表 1-1 所示。

表 1-1 一些频率声波的波长($c = 340\text{m/s}$ 时)

f	20Hz	50Hz	100Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	5kHz	10kHz	15kHz	20kHz
λ	17m	6.8m	3.4m	1.36m	68cm	34cm	17cm	6.8cm	3.4cm	2.3cm	1.7cm

3. 声功率和声强

单位时间内穿过垂直于声波传播方向给定面积的声能通量称为声功率,以 W 表示,单位为瓦/秒(W/s)。

单位时间内,穿过垂直声波传播方向单位面积的声能称为声强。也就是穿过垂直声波传播方向单位面积的声功率,以 I 表示,单位为瓦/平方米(W/m²)。声强与声压平方成正比。

^① 电波的频率单位也是 Hz,除 kHz 外,还有兆赫兹(MHz) = 10⁶Hz;吉赫兹(GHz) = 10⁹Hz。

4. 声级

由于人耳能听到的声压范围在 $20\mu\text{Pa} \sim 20\text{Pa}$ 之间, 相差 10^6 倍; 声强范围在 $10^{-12} \sim 1\text{W}/\text{m}^2$ 之间, 相差 10^{12} 倍, 表示起来不方便。另外, 人耳对声压和声强变化的感觉, 并不与变化的绝对值成正比, 而是与它们的对数成正比。因此, 采用声压级和声强级来表示声压和声强的大小就更为方便。声级的概念与电路中电平的概念是相似的。

1) 声压级

声压级 (SPL) 定义为

$$SPL = 20 \lg \frac{p}{p_r} \quad (\text{dB}) \quad (1-1)$$

式中, p_r 为基准声强, 数值等于 $20\mu\text{Pa}$; p 为待求声压级的声压。式(1-1)也可写成

$$SPL = 20 \lg p + 94 \quad (\text{dB})$$

由式(1-1)可知, 声压变化 10 倍, 相当于声压级变化 20dB; 声压变化 100 倍, 相当于声压级变化 40dB。

2) 声强级

声强级 (SIL) 的定义为

$$SIL = 10 \lg \frac{I}{I_r} \quad (\text{dB}) \quad (1-2)$$

式中, I_r 为基准声强, 数值等于 $10^{-12}\text{W}/\text{m}^2$; I 为待求声强级的声强。上式也可写成

$$SIL = 10 \lg I + 120 \quad (\text{dB})$$

由式(1-2)可知, 声强变化 10 倍, 相当于声强级变化 10dB; 声强变化 100 倍, 相当声强级变化 20dB。

3) 声功率级

声功率级 (SWL) 的定义为

$$SWL = 10 \lg \frac{W}{W_r} \quad (\text{dB})$$

式中, W_r 为基准声功率, 数值等于 10^{-12}W ; W 为待求声功率级的声功率。上式也可写成

$$SWL = 10 \lg W + 120 \quad (\text{dB})$$

表 1-2 给出了声压比与声压级及声强比与声强级的关系表。

表 1-2 声压比与声压级及声强比与声强级的关系表

声压比或声强比	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	20.0
声压级/dB	0.00	6.02	9.54	12.04	13.98	15.56	16.90	18.06	19.08	20.00	26.02
声强级/dB	0.00	3.01	4.77	6.02	6.99	7.78	8.45	9.03	9.54	10.00	13.01
声压比或声强比	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0	1000.0	10000.0	100000.0
声压级/dB	29.54	32.04	33.98	35.56	36.90	38.06	39.08	40.00	60.00	80.00	100.00
声强级/dB	14.77	16.02	16.99	17.78	18.45	19.03	19.54	20.00	30.00	40.00	50.00

二、人耳的听觉范围

人耳对声振动的感受, 在频率及声压级方面都有一定的范围, 在这个范围以外的声振动人耳是感觉不到的。

1. 频率范围

人耳能感觉到的声振动约在 20Hz~20kHz 之间,称为可听声。低于 20Hz 的声振动称为次声,高于 20kHz 的声振动称为超声。人耳对次声和超声都感觉不到。声频工作者主要研究的对象是可听声。

2. 声压级范围

人耳对不同频率的可听声在相同声压级时的感觉会不同。通常将青年人对 1000Hz 声音以 0dB 声压级(即 2×10^{-5} Pa 声压)定为这一频率的听阈。比 0dB 再小的声音会感觉不到。1000Hz、120dB 的声音会使人耳感到疼痛,将 120dB 定为 1000Hz 声音的痛阈。其它频率的可听声的听阈和痛阈与 1000Hz 声音会不同。图 1-4 中最下面一条曲线表示了各频率声音的听阈,最上面一条曲线表示了各频率的痛阈。人们随着年龄的不同、健康状况的不同,听阈和痛阈的数值也会不同。图 1-4 中的标有百分数的各条曲线,表示听阈在该曲线之上的人所占的百分比。从听阈曲线可看出低于 1000Hz 和高于 4000Hz 的听阈都高于 0dB,即人耳对它们的灵敏度较差。听阈曲线最低的是 3000~4000Hz 的声音,这是由于外耳道在这一频率段谐振所致,人耳对它们最敏感。

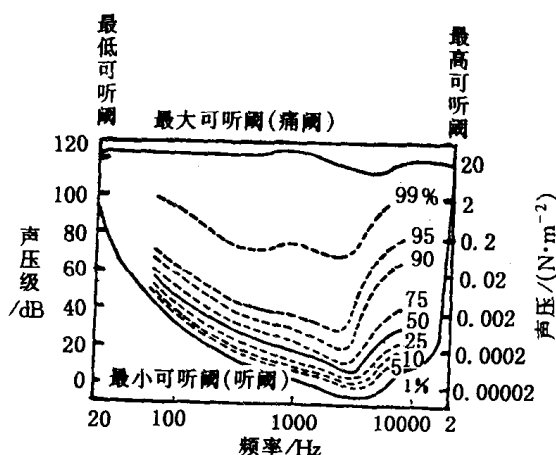


图 1-4 人耳的听阈和痛阈

由图 1-4 可以看出,听觉敏锐的人(约占 1%)与具有平均值的人(50%的人)的听阈相差可达 20dB(10 倍)。具有比平均值还要高 20dB 听阈的人是属于听觉衰退的人。人们由于年龄和健康状况等因素,能听到的声音频率范围会不同。通常年龄增大,对频率较高的声音就会听不到了。

三、声音三要素

人们对声音的主观感觉有音调、响度和音色。它们被称为声音的三要素。

1. 音调

人耳对声音高低的感受称为音调。音调主要与声音的频率有关。音调随频率增大而增高,但不与频率成正比关系。

音调的单位为美(mel)。1000Hz、40dB 的纯音的音调定为 1000 美,比 1000 美高一倍的音调定为 2000 美,比 1000 美低一半的音调定为 500 美。美与频率的关系如图 1-5 所

示。2000 美的音调比 1000 美高一倍,但频率数却增大近四倍(约 4000Hz)。所以频率与音调之间的关系是较为复杂的。在音乐中很少用美来表示音调间的关系。

其它影响音调的因素还有声音的声压级以及声音的持续时间。

低频的纯音,声压级高时要比声压级低时感到音调变低;在 1000~5000Hz 范围的纯音,音调与声压级几乎无关系;频率再高的纯音,声压级升高时会感到音调变高。

一个复音的音调是由复音中频率最低的声音决定的,即由基音决定。复音的声压级高低对音调的影响比纯音的要小得多。

声音的持续时间在 0.5s 以下要比 1s 以上感到的音调要低,持续时间再短,为 10ms 左右时会使听音人感觉不出它的音调,只有喀喇声感觉。使人耳能明确感觉出音调所必需的声音持续时间,随声音的频率而不同,频率低的声音要比频率高的声音需要较长的持续时间。

人耳对频率的辨别阈,是指人耳对频率微小变化(Δf)的分辨能力。根据图 1-6 所示实验结果可知,对于 500~6000Hz,50dB 的声音,人耳的辨别阈为 0.3% 左右,是很敏感的。例如 3000Hz 声音变化 $3000 \times \frac{0.3}{100} = 9\text{Hz}$ 人耳就能感觉到。

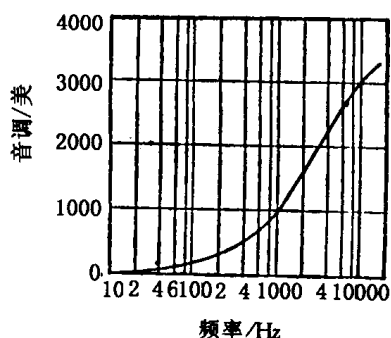


图 1-5 美与频率间的关系

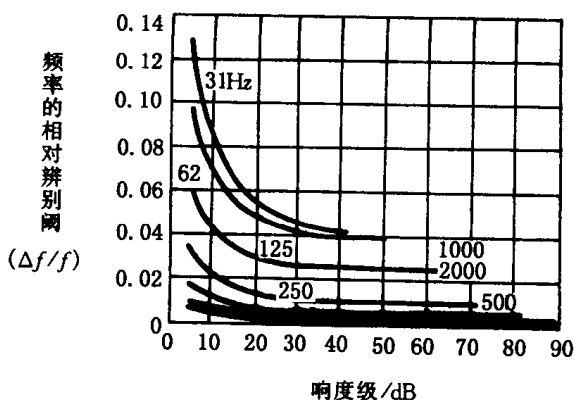


图 1-6 人耳对频率的辨别阈

通常,称某一频率的区间为频带。由上限频率 f_2 和下限频率 f_1 来规定带宽, f_2/f_1 又称为截止频率。在声频技术中常用的频带宽度有倍频带或称倍频程(octave, 缩写为 oct)。一个倍频带是上限频率为下限频率一倍的频率范围,即 $f_2 = 2f_1$ 。如果需要得到比倍频带更窄一些的频带,可以用 $1/2$ 倍频带(或称 $1/2$ 倍频程)。 $1/2$ 倍频程是在两个相距一个倍频程的频率之间插入一个频率,使这三个频率之间依次相差 $2^{1/2} = 1.414$ 倍。即成为 $f_1, 2^{1/2}f_1 = 1.414f_1, 2f_1$ 。还可以使用 $1/3$ 倍频带(或称 $1/3$ 倍频程)。 $1/3$ 倍频程是在两个相距一个倍频程的频率之间,插入两个频率,使这四个频率之间,依次相差 $2^{1/3} = 1.26$ 倍,即成为 $f_1, 2^{1/3}f_1 = 1.26f_1, 2^{2/3}f_1 = 1.587f_1, 2f_1$ 。

上限和下限截止频率的关系为

$$f_2 = 2^n f_1$$

式中, n 为倍频带的系数,可以是整数,也可以是分数,例如,当 $n = 1/3$ 时,就是 $1/3$ 倍频带; $n = 1/2$ 时,就是 $1/2$ 倍频带;当 $n = 1$ 时,就是指倍频带。