

高等学校数字媒体专业规划教材

数字音频技术

管恩京 主编



清华大学出版社

高等学校数字媒体专业规划教材

数字音频技术



管恩京 主编

张鹤方 王厂 姜洪涛 杨德福 副主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是数字音频相关知识的基础指南,以目前市场上主流视听音响系统为例,全面论述了数字音频技术。本书以通俗易懂的文字描述了当今音频设备及其背后的各种技术。根据知识的逻辑性与系统性,首先阐述了声学基本原理和电声技术的基本物理量,为后续学习奠定理论基础,然后介绍实际生活中人们对音质的评价和有关调音的技巧,并结合数字音频的特点和发展方向,由浅入深地讲述音频的数字化与音响系统的组成、操作、调教与保养,最后介绍有关录音的技术。这样的安排,体现了理论和实际相结合的理念,以适应不同层次读者的需要。对书中涉及的原理与技术的难点,给出了图表等实例,帮助读者加深理解。每章附有习题,便于读者深入学习和思考。

本书可作为高等学校电子信息类专业及相近专业(信息工程、数字媒体技术、影视艺术与技术等)的主干课教材,也可供从事音频技术、影视技术、多媒体技术等工作的工程技术人员阅读、参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字音频技术/管恩京主编. —北京:清华大学出版社,2017

(高等学校数字媒体专业规划教材)

ISBN 978-7-302-48340-3

I. ①数… II. ①管… III. ①数字音频技术—高等学校—教材 IV. ①TN912.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第218427号

责任编辑:袁勤勇 薛 阳

封面设计:何凤霞

责任校对:梁 毅

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:15.5

字 数:371千字

版 次:2017年11月第1版

印 次:2017年11月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.50元

产品编号:076469-01

前言

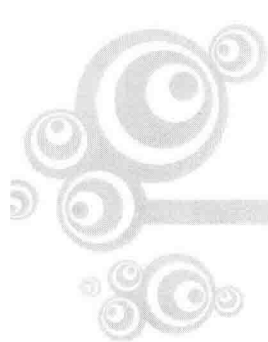


传统的声音记录方式就是将模拟信号直接记录下来,随着计算机技术的发展,特别是海量存储设备和大容量内存在计算机上的实现,对音频媒体进行数字化处理便成为可能。

近年来针对数字音频处理和编解码,国内外有着不少相关研究资料及著作,但略显不足的是,目前较常见到的都是关于编解码技术、数字音频制作与编辑、录音技术与数字音频制作等方面的书籍,它们大多是从一个角度介绍数字音频的理论和技術,还缺少一本适合不同学生专业背景,并突出实践的教材。同时,数字媒体技术的发展很快,一些声音处理方面的新技术、新设备,以及新的艺术潮流等不断涌现,以前选用的教材已经很难满足发展的需要,应尽快将新鲜知识纳入教学内容。此外,从社会需求来看,到底需要学生掌握哪些知识和技能,从已有教材来看,也很少有体现。

本书在编写的时候,遴选并吸纳了几位社会上从事音响技术与艺术创作的工程师,重点从用人单位的角度,对数字音频的知识点进行了取舍。本书涵盖数字音频技术基础和具体音响设备两大部分,共分为7章。第1章介绍了声音的基本原理和电声技术的基本物理量,重点讲述了人耳的7大听觉效应。第2章介绍了音质的评价,重点讲述了不同环境下,对不同声源的调音技术。第3章介绍了声音的编码和解码过程与技術,重点讲述了数字音频的格式与封装技术。第4章介绍了音响系统的组成和基本操作,重点讲述了音响设备的配接与操作。第5章介绍了音响设备的常见接口,重点讲述了常用的音频线材与制作技术。第6章介绍了音响系统的整体调教和保养,重点介绍了常见故障的判断与处理。第7章介绍了录音的发展,重点讲述了录音的分类和录音棚设计与设备应用。本书从数字音频技术的基本知识,到具体的音质评价、调音、音响设备连接和操作,论述全面、系统、详细、周全。不仅如此,本书从可读性和实用性出发,尽可能以市场上主流音响设备为例来进行介绍。





期望读者能通过本书,特别是书中大量的图片和示例,对数字音频技术基础,主要是数字音频具体应用方面有比较全面的了解,掌握电声技术中的物理量、音质评价的基本理论;了解声音编码和解码的过程与方法;熟悉调音和音响设备的基本理论和操作方法以及音响系统的调教保养故障分析;了解录音的发展历史、当前的录音设备以及一些新的技术进展。

本书在编写过程中引用了很多数字音频领域的专家和前人的研究成果,参考了有关企业资料,在此谨向这些企业、专家、学者、作者表示衷心的感谢,他们的工作使我们的生活进入了数字音频时代。

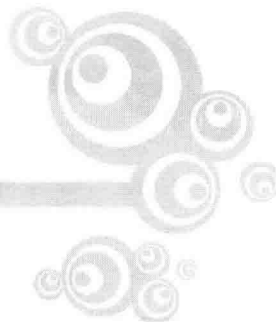
由于编者水平有限,时间仓促,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2017年8月



目 录



第 1 章 基本声学原理	1
1.1 声学的基本物理量	1
1.1.1 响度	2
1.1.2 音调	3
1.1.3 音色	4
1.1.4 频率与频谱	4
1.1.5 倍频程	6
1.1.6 相位	6
1.1.7 声压与声压级	7
1.1.8 反射	7
1.1.9 绕射	8
1.1.10 干涉	9
1.2 人耳的听觉效应	9
1.2.1 掩蔽效应	9
1.2.2 哈斯效应	10
1.2.3 双耳效应	10
1.2.4 颅骨效应	11
1.2.5 鸡尾酒会效应	11
1.2.6 回音壁效应	11
1.2.7 多普勒效应	11
1.3 电声技术中声音的物理量	12
1.3.1 分贝	12
1.3.2 信噪比	14
1.3.3 延时	14
1.3.4 混响	15
1.3.5 平均自由程	15





1.3.6	功率	15
1.3.7	平均功率、有效功率与最大功率	16
1.3.8	音乐功率	16
1.4	立体声概念	16
	习题	19
第2章	音质评价与调音技巧	20
2.1	音质的评价	20
2.1.1	音质的评价用语	20
2.1.2	音质的主观评价与技术指标的关系	21
2.2	声音三要素对调音的影响	24
2.2.1	响度对调音的影响	24
2.2.2	音调对调音的影响	25
2.2.3	音色对调音的影响	25
2.3	人耳的听觉对调音的影响	25
2.3.1	听力对调音的影响	25
2.3.2	掩蔽效应对调音的影响	26
2.3.3	哈斯效应对调音的影响	27
2.4	室内环境及其对调音的影响	27
2.4.1	室内环境声学	27
2.4.2	室内声场的组成对调音的影响	32
2.4.3	室内传输响应对调音的影响	34
2.5	厅堂音质的测量	37
2.6	厅堂扩声特性的测量	40
2.6.1	传输频率特性的测量	40
2.6.2	传声增益的测量	42
2.6.3	反馈系数的测量	42
2.6.4	最大声压级的测量	43
2.6.5	系统失真的测量	44
2.7	常见乐器的频率特性	45
2.8	乐队的布局及乐器的拾音	48
2.8.1	乐队的类型	48
2.8.2	乐队的布局	49
2.8.3	乐器的拾音	51
2.9	人声的拾音	53
2.10	对人声的调音	53
2.10.1	对主持人的调音	53
2.10.2	对歌手的调音	54
2.10.3	对童音的调音	55



2.11	伴奏音乐与歌声的比例	56
2.12	音乐酒廊与咖啡厅的调音	57
2.13	摇滚乐的调音	57
2.14	声像的统一协调	59
	习题	60
第 3 章	音频数字化	61
3.1	数字化基础	61
3.1.1	数制	61
3.1.2	二进制	62
3.1.3	二进制单位	64
3.2	模拟与数字	64
3.3	模数转换	66
3.3.1	采样	66
3.3.2	量化	69
3.3.3	编码	71
3.4	编解码器	74
3.4.1	音频压缩编码的基本原理	74
3.4.2	有损压缩	75
3.4.3	无损压缩	76
3.4.4	常见编解码器	77
3.5	数字音频格式	83
3.6	存储	86
3.6.1	存储介质分类	86
3.6.2	存储介绍	87
3.6.3	存储介质发展历史介绍	89
第 4 章	常用音响设备的操作使用	91
4.1	音响系统的组成	91
4.2	音响设备的操作使用	92
4.2.1	调音台	92
4.2.2	效果器	100
4.2.3	激励器	106
4.2.4	压限器	108
4.2.5	扩展器与噪声门	111
4.2.6	声反馈抑制器	113
4.2.7	均衡器	118
4.2.8	分频器	123
4.2.9	功率放大器	126



4.2.10	话筒、扬声器及音响	130
4.3	音响系统的基本操作	143
4.4	音响系统的配接	144
4.4.1	配接的原则	144
4.4.2	音响系统接插件及其接法	145
4.4.3	音响设备间的连接	147
4.4.4	设备间配接的灵活运用	150
4.5	音响系统连接实操	152
4.5.1	调音台	152
4.5.2	音响与功放机的连接	158
4.6	家庭 AV 系统	161
4.7	家庭影院系统	161
4.7.1	环绕声系统	161
4.7.2	THX 家庭影院系统	166
4.7.3	DTS 数字影院系统	167
4.7.4	多媒体家庭影院系统与双声道环绕声系统	168
4.7.5	DSP 数字声场处理系统	173
4.7.6	HDCD 技术	174
	习题	175
第 5 章	音响设备常用接头及音视频线材的制作方法	177
5.1	模拟音频接口	177
5.1.1	TRS 接头	177
5.1.2	RCA 接头	179
5.1.3	XLR 接头	179
5.2	数字音频接口	180
5.2.1	S/PDIF	180
5.2.2	HDMI	181
5.3	平衡信号和非平衡信号	182
5.4	常用的音频线材	183
5.4.1	话筒线	183
5.4.2	音频连接线	183
5.4.3	音频信号缆	183
5.4.4	音响线	184
5.5	线材的制作	184
5.5.1	卡侬(平衡)线的制作	185
5.5.2	大三芯(平衡)线的制作	188
5.5.3	大三芯对卡侬头(公、母)线材的制作	188
5.5.4	音源(非平衡)线的制作(大二芯对莲花头)	189



5.5.5	其他非平衡线材的制作	190
5.5.6	平衡转非平衡线材的制作	190
5.5.7	insert 线的制作	191
5.5.8	便携式 CD/MD/MP3 的音源线材制作	194
5.5.9	音响线的制作	194
5.5.10	视频线的制作	197
小 结	197
第 6 章	音响系统的整体操作调校与保养	198
6.1	音响系统的系统调校	198
6.1.1	音量调控	198
6.1.2	压限调控	201
6.1.3	频率均衡调控	202
6.1.4	混响调控	206
6.1.5	立体声扩声的校准和调整	209
6.1.6	演出过程中调音员应注意的问题	210
6.2	普通重放音响系统现场录音的连接与调校	211
6.3	一般常见故障的判断	213
6.3.1	故障检查	213
6.3.2	常见故障	213
6.3.3	检修时应注意的问题	214
6.3.4	音响设备的维护保养措施	216
6.4	家庭影院的布局与调校	217
6.4.1	室内声学环境的影响	217
6.4.2	音响的摆放	218
6.4.3	家庭影院系统的音频和视频调校	220
习 题	221
第 7 章	录音技术	223
7.1	录音的概念	223
7.2	录音的发展历史	223
7.3	录音流程	226
7.4	录音分类	226
7.4.1	实况立体声录音	226
7.4.2	实况混录	227
7.4.3	多轨录音机和调音台的录音	227
7.4.4	独立的数字音频工作站(DAW、录音机-调音台)录音	228
7.4.5	计算机 DAW(数字音频工作站)录音	228
7.4.6	MIDI(乐器数字接口)音序录音	228

7.5 录音棚	229
7.5.1 概念	229
7.5.2 设计要求	230
7.5.3 主要设备	231
7.5.4 专业录音棚参考案例	233
附录 A 电工基础知识	235
参考文献	238

第 1 章 基本声学原理

计算机数据的存储是以 0、1 的形式存储的,那么数字音频就是首先将音频文件转化,接着再将这些电平信号转化成二进制数据保存,播放的时候就把这些数据转换为模拟的电平信号再送到喇叭播出,数字声音和一般磁带、广播、电视中的声音就存储播放方式而言有着本质区别。它是随着数字信号处理技术、计算机技术、多媒体技术的发展而形成的一种全新的声音处理手段。数字音频是一种高度复杂的技术,它的复杂性使我们更加有理由从基本的知识出发。我们的求知之旅将从本章开始,对“采用数字方式编码一个音频事件包含的信息”的各种方法进行探索。

1.1 声学的基本物理量

学习数字音频时,首先要对声音的物理属性进行简要的回顾,因为这些声学现象正是发明数字音频技术的目的。无论是直接由乐器或人发出的音频还是由电信号产生的音频,所有音频最终都是要传播到空间中的,此时它就变成了声音和听觉的事情。众所周知,声音是一种波,波是在空间中以特定形式传播的物理量或物理量的扰动。例如,当鼓被敲击时,鼓皮会扰动其周围的空气(介质),这种扰动所产生的结果就是鼓的声音。这一机制理论很简单:鼓皮被敲击,产生了前后的振动,当鼓皮向前推时,鼓皮前方的空气分子被压缩了;当鼓皮向后拉时,鼓皮前方的这个区域又变稀薄了。这个扰动由位于大气压平衡点之上和之下的压力区域组成。

空气分子根据原始的扰动进行相继地位移,从而使声音得以传播。换句话说,一个空气分子与下一个空气分子的碰撞使能量扰动从声源处传播开去。声音的传播是由若干个从一个区域传到另一个区域的局部扰动组成的。空气分子的这种局部位移出现在扰动传播的方向上,所以声音在空间中是纵向传播的,如图 1-1 所示。

拓展与思考:

声音在介质中传播速度的二次方与传输媒介的弹性成正比,与媒介的密度成反比。例如,钢的弹性是空气弹性的 1 230 000 倍,钢中的声速是空气中声速的 14 倍,那么钢的密度应该是空气密度的多少倍呢?

同理,请再思考声音在湿润空气和干燥空气中哪一个传播速度快?

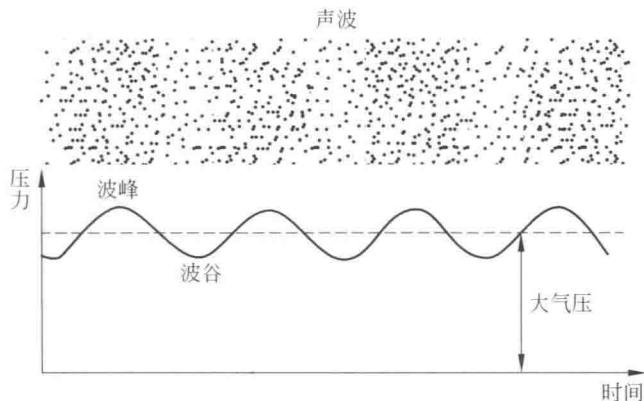


图 1-1 声波的形成与传播

1.1.1 响度

人耳对于声音的感觉主要有三个方面,即声音的响度、音调和音色,我们通常称之为声音的三要素。声音的三要素同声音的大小、高低和品质密切相关。

1. 响度

响度是人耳对声音强弱的主观感受。响度不仅正比于声音强度的对数值,而且与声音的频率和波形有关。响度的单位是宋(sone)。国际上规定,频率为 1kHz、声压级为 40dB 时的响度为 1 宋。

大量统计表明,一般人耳对声压的变化感觉是,声压级每增加 10dB,响度增加一倍,因此响度与声压级有如下关系:

$$N = 2^{0.1(L_p - 40)}$$

式中, N 为响度(sone), L_p 为声压级。

2. 响度级

人耳对声音强弱的主观感觉还可以用响度级来表示。声音响度级定义为等响度的 1kHz 纯音的声压级,单位是方(phon)。声压级为 40dB 的 1kHz 纯音的响度级为 40 方,响度为 1 宋。从响度及响度级的定义中可知,响度级每增加 10 方,响度增加一倍。

响度、响度级与声压级的关系如表 1-1 所示。

表 1-1 响度、响度级与声压级的关系

响度/sone	1	2	4	8	16	32	64	128	256
声压级/dB	40	50	60	70	80	90	100	110	120
响度级/phon	40	50	60	70	80	90	100	110	120

3. 等响度曲线

由于响度是指人耳对声音强弱的一种主观感受,因此,当听到其他任何频率的纯音同声压级为 40dB 的 1kHz 的纯音一样响时,虽然其他频率的声压级不是 40dB,但也定义为 40 方。这种利用与基准音比较的实验方法,测得一组一般人对不同频率的纯音感觉



一样响的响度级与频率及声压级之间的关系曲线,称为等响曲线。如图 1-2 所示是国际标准化组织的等响度曲线,它是对大量具有正常听力的年轻人进行测量的统计结果,反映了人类对响度感觉的基本规律。

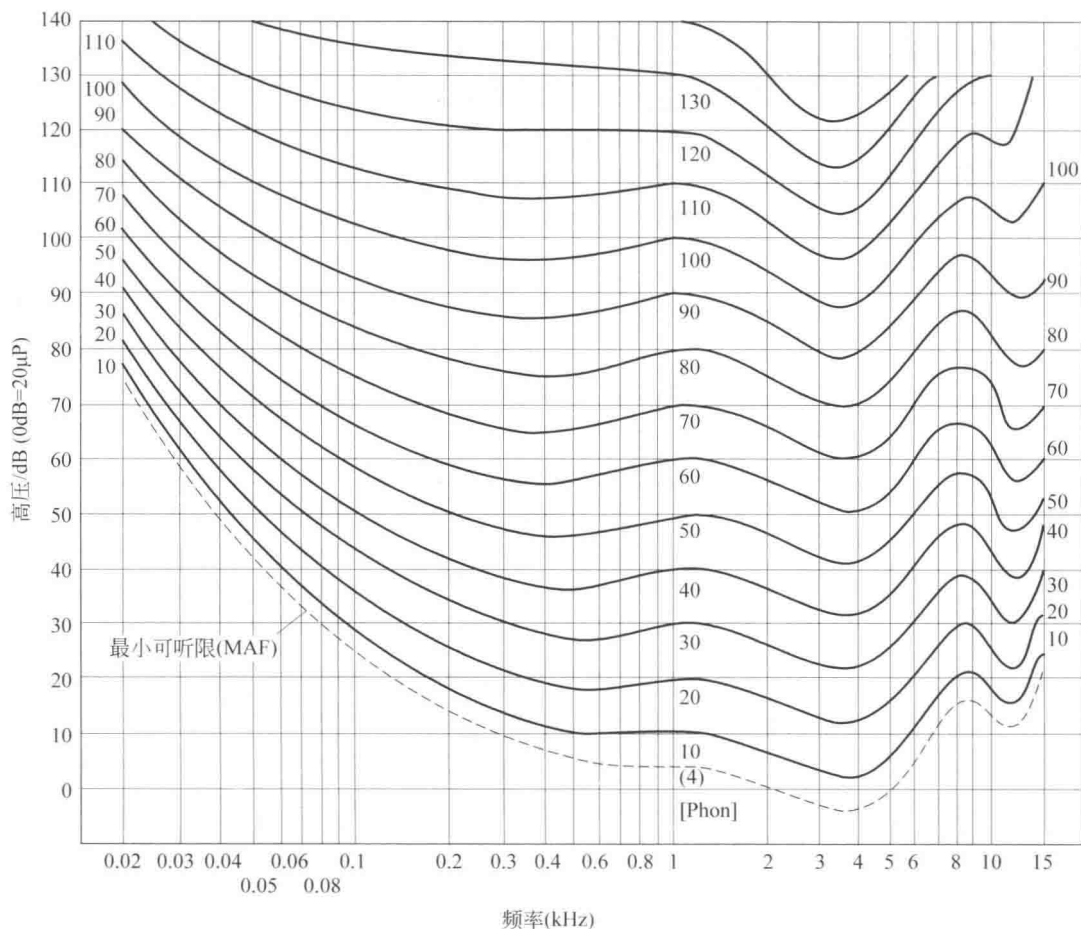


图 1-2 等响度曲线

曲线中的每一条等响度曲线对应一个固定的响度级值,即 1kHz 频率对应的声压值。

例如,1 号曲线 1kHz 频率对应的声压级值为 10dB,则 1 号曲线的响度级为 10 方,5 号曲线 1kHz 频率对应的声压级为 50dB,则 5 号曲线的响度级为 50 方。

1.1.2 音调

音调又称音高,是指人耳对声音高低的主观感受。音调主要取决于声音的基波频率,基频越高,音调越高,同时它还与声音的强度有关。音调的单位是“美”。频率为 1kHz,声压级为 40dB 的纯音所产生的音调就定义为 1 美。

音调大体上与频率的对数成正比,目前世界上通用的十二平分律等程音阶就是按照基波频率的对数值取等分而确定的。声音的基频每增加一个倍频程,音乐上就称为提高一个“八度音”。例如,C 调 1 为 261Hz,高音 1 就为 525Hz。当声压级很大,引起耳膜振

动过大,出现谐波分量时,也会使人们感觉到音调产生了一定的变化。

1.1.3 音色

音色是指人耳对声音特色的主观感觉。音色主要取决于声音的频谱结构,还与声音的响度、持续时间、建立过程及衰变过程等因素有关。

声音的频谱结构是用基频、谐频数目、谐频分布情况、幅度大小以及相位关系来描述的。不同的频谱结构,就有不同的音色。即使基频和音调相同,如果谐波结构不同,音色也不相同。例如,钢琴和黑管演奏同一音符时,其音色是不同的,因为它们的谐频结构不同,如图 1-3 所示。

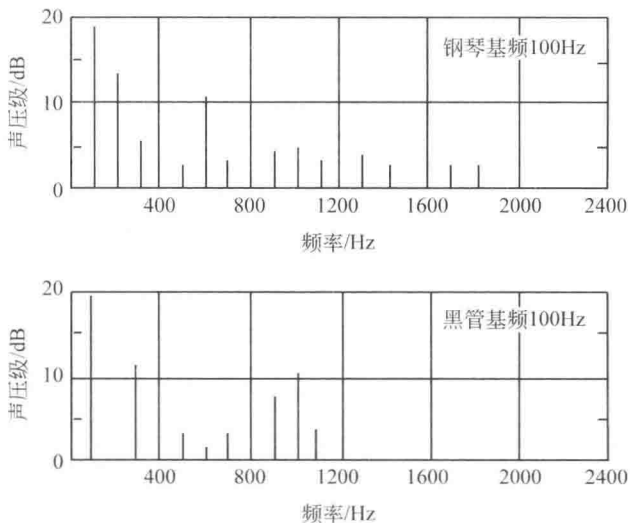


图 1-3 钢琴和黑管各奏出以 100Hz 为基音的乐音频谱图

1.1.4 频率与频谱

1. 频率

声音振动引起的空气压力变化既可以是周期性产生的,也可以是非周期性产生的。小提琴会以一个固定的速率周期性地让空气前后移动。(实际上,由于颤音之类东西的存在使得它仅仅是一个准周期性的振动。)但是,一声炸裂是不具有固定周期的,它是非周期的。一个周期振动从压力变稀薄到压力变密集再回到压力变稀薄的一次顺序演变决定了一个周波。每秒钟通过一个给定点的振动周期的数量就是声波的频率。

频率是电学和声学中的一个基本量。很多声学量都与频率有关,传声器灵敏度的校正、电声换能器频率特性的测量、厅堂音质的鉴定以及信号的分析都离不开频率,频率是单位时间内信号振动的次数,一般用 f 表示,单位是赫兹(Hz)。

$$1\text{Hz}(\text{赫兹})=10^{-3}\text{kHz}(\text{千赫兹})=10^{-6}\text{MHz}(\text{兆赫兹})$$

人耳可听到的频率范围是 20Hz~20kHz。当然这只是一个大概的范围,每个人实际



上听到的频率范围并不相同,一般来讲,青年人要比老年人听到的频率范围要宽,因为随着年龄的增长,人耳对高频声的听力会逐渐降低。音频设备通常都被设计成能响应这一普通范围内的频率。不过,也可以把数字音频设备设计成能够适应比这一范围高得多的频率。

声音可以是单一频率的声音,称为纯音;而包含几种不同频率成分的声音,则称为复合音。生活中大多数的声音是复合音,如语言、音乐或噪声。复合音都可以分解为许多纯音之和。如果复合音的大多数纯音都集中在高频部分,就称为高频声;集中在低频部分,就称为低频声。当然,所谓高频声和低频声都是相对而言的,习惯上把频率低于 60Hz 的声音称为超低音,把 60~200Hz 的声音称为低音,把 200Hz~1kHz 的声音称为中音,把 1~5kHz 的声音称为中高音,而把 5kHz 以上的声音统称为高音。在复合音分解的信号中,频率最低的一个纯音成分称为基音;比基音频率高整数倍的纯音成分称为泛音。按频率从低到高依次称为第一泛音(谐波)、第二泛音和第三泛音等,如图 1-4 所示。

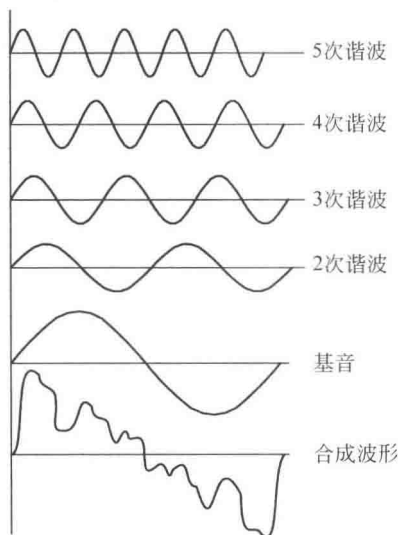


图 1-4 复合音分解示意图

2. 频谱

频谱是频率谱密度的简称,是频率的分布曲线。

复杂振荡分解为振幅不同和频率不同的简谐振荡,这些简谐振荡的幅值按频率排列的图形叫作频谱。

声音的频谱在时间上是离散的;声音(复合音)的频谱结构是用基频、谐频(泛音)数目、各谐频幅度大小及相位关系来描述的。每个人的声音都有自己非常特别的唯一的频谱结构,即每个人的声音都有自己的特色,正是因为这一特色的存在,我们才常常能从电话的声音里立即听出是谁在同自己讲话。例如,通过对人声的频谱分析可以知道,男声的高频成分要比女声的高频成分少且幅度小,男声的低频成分要比女声的低频成分多且幅度大,故男声声音较低沉浑厚,女声声音较尖细。由此可见,频谱对信号频率的分析是非常重要的。如图 1-5 所示为一段音频某时刻的频谱。

拓展阅读:

1. 高频频段

这个频段的声幅影响音色的表现力。这个频段在声音的成分中幅度不是很大,也就是说,强度不是很大,但是它对音色的影响很大,所以说它很宝贵、很重要。

比如,一把小提琴拉出 a' —440Hz 的声音,双簧管也吹出 a' —440Hz 的声音,它们的音高一样,音强也可以一样,但是一听就能听出哪个声音是小提琴,哪个声音是双簧管,其原因就是,它们各自的高频泛音成分各不相同。

2. 中高频频段

这个频段是人耳听觉比较灵敏的频段,它影响音色的明亮度、清晰度、透明度。如果这个频段的音色成分太少了,则音色会变得黯淡了,朦朦胧胧的好像声音被罩上一层面

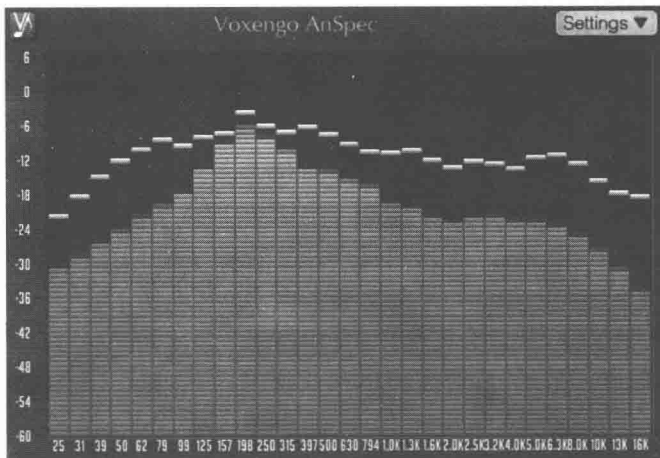


图 1-5 一段音频某时刻的频谱

纱一样;如果这个频段成分过高了,音色就变得尖利,显得呆板、发愣。

3. 中低音频段

这个频段是人声和主要乐器的主音区基音的频段。这个频段音色比较丰满,则音色将显得比较圆润、有力度。因为基音频率丰满了,音色的表现力度就强,强度就大,声音也变强了。如果这个频段缺乏,其音色会变得软弱无力、空虚,音色发散,高低音不合拢;而如果这段频率过强,其音色就会变得生硬、不自然。因为基音成分过强,相对泛音的强度就变弱了,所以音色缺乏润滑性。

4. 低音频段

如果低音频段比较丰满,则音色会变得浑厚,有空间感,因为整个房间都有共振频率,而且都是低频区域;如果这个频率成分多了,会使人自然联想到房间的空间声音传播状态。如果这个频率的成分缺乏,音色就会显得苍白、单薄,失去了根音乏力;如果这个频率的成分在音色中过多了,就会显得浑浊不清了,因而降低了语音的清晰度。

1.1.5 倍频程

倍频程是声学中常用到的一个概念,可由下式表示:

$$n = \log_2 \frac{f_Q}{f_P}$$

式中, f_P 为基准频率; f_Q 为求倍频程数的信号频率; n 为倍频程数,可正可负,可以是分数或整数。

频段的划分一般以倍频程为刻度单位。在音乐中,将一倍频程分为 8 度,即频率每提高一倍,音调提升 8 度。

1.1.6 相位

相位是电学和声学的另一个基本量。在音响系统中,音质的改变与声音信号的相位