



● 钟金虎 编著

# 录音技术基础 与数字音频处理指南

本书从最基本的物理与心理声学入手，帮助读者全面、系统地掌握  
录音专业理论并指导实践。

清华大学出版社





● 钟金虎 编著

# 录音技术基础 与数字音频处理指南



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书模拟与数字录音理论并重, 强调理论与实践结合。全书共分为 9 章。第 1 章为声音的物理特性及声波在闭室中的传播; 第 2 章为声音的主观感受及声音信号计量; 第 3 章为乐器、音乐和语言的声学特性; 第 4 章为声音的拾取——传声器原理及其使用; 第 5 章为调音控制系统; 第 6 章为声处理设备原理及应用; 第 7 章为电子计算机数字音频工作站; 第 8 章为数据存储、传输与同步; 第 9 章为 MIDI 原理。

本书适合电影和电视(包括多媒体和舞台扩声)等录音及扩声工作的专业技术人员、MIDI 制作人员和艺术大专院校相关专业的学生阅读, 可供相关大专院校作为教材选用, 也是业余录音爱好者从了解到精通录音的学习书籍。

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

录音技术基础与数字音频处理指南 / 钟金虎编著. —北京: 清华大学出版社, 2017  
ISBN 978-7-302-45052-8

I. ①录… II. ①钟… III. ①录音-技术-指南 ②数字音频技术-指南 IV. ①TN912-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 218543 号

责任编辑: 夏兆彦

封面设计: 张 阳

责任校对: 胡伟民

责任印制: 杨 艳

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈: 010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 刷 者: 北京富博印刷有限公司

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 26.25 字 数: 660 千字

版 次: 2017 年 2 月第 1 版 印 次: 2017 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 59.00 元

---

产品编号: 037798-01

# 前 言

编写本书的主要目的是为正在从事和利用声学空间进行音频的录制、后期处理以及后期缩混的音频工程师和录音、编辑制作人员，以及相关专业的在校学生，提供录音方面的各类基础知识和录音应用技术方面的基本指导。

编写本书的一个宗旨是从最基本的物理声学和心理声学入手，让读者通过阅读本书，可以较为全面地、系统地获得录音专业方面的理论知识。同时，本书还较为详细地介绍了当今最先进的录音设备及其器材的基本理论和操作方法，即大家常说的理论与实践相结合的基本学习方法与工作理念。

录音专业的属性告诉我们，录音既是技术性很强，又是对艺术性要求较高的一门跨专业学科，它是技术与艺术相互融合、相互渗透的一门综合性学科。可是，无论过去或是现在，在录音行业内普遍存在忽视技术而重视其艺术属性的倾向。一些录音从业人员基本上不重视对录音技术及其基础理论的学习，也有些录音制作人员相当程度地存在只重视实际操作而轻视理论学习的倾向，即使是刚从专业院校录音专业毕业的大学生，也存在不能把在学校里学到的录音理论知识自觉运用到自己的工作中去的普遍现象，以至于他们完全沦为一个录音匠人的境地。其实，在实际的工作当中，结合录音技术的特点，运用录音技术基础理论知识的地方比比皆是。任何录音设备和应用软件都是根据录音技术的基本原理和需求而研制生产的。一个认真的录音工作者应该随时随地主动地运用这些基本理论来指导自己平时的专业工作，才能使工作做到有的放矢、有根有据，才能达到举一反三、事半功倍的效果。

按知识内容划分本书实际存在三个版块。本书的前三章为第一版块，主要介绍了一些声学的基础理论，包括声音的物理特性及对一些相关物理量的定义和计算，还介绍了人类对声音的主观感受及一些计量方法，概略地介绍了各类声源的声学特性。第二版块由第4~8章组成，基本上是按照录音工艺流程，用了相当大的篇幅重点介绍了在录音和音频效果处理与后期缩混工作中常用的设备、器件及声音效果处理设备，包括效果软件和插件的原理及其使用方法，还包括大量在实际工作中积累的有用操作数据。为了让读者能紧跟数字录音时代的步伐，了解和熟悉当代最流行的数字录音原理，这部分还系统地介绍了当今最先进的数字音频录音编辑工作站的相关知识和操作方法。众所周知，在数字音频处理时代，除了对模拟声音信号进行采样和量化外，还离不开数据存储和传输技术，也离不开数字设备间的信号同步，为此本书还专门辟出了一章对这方面的知识做了一些介绍。第三版块为第9章，对MIDI原理及其相关的国际协议、标准和规范进行了详细介绍和阐述，它是本书的重点章节之一。

在编写本书时，笔者查找了一些国内外有关学者、专家等发表的学术著作和资料，除在书末“参考文献”中标明外，更要借此机会在此对这些学者、专家一并表示感谢！

因编者才疏学浅，对许多问题的认识难免挂一漏万，可能会出现一些谬误，敬请有识者不吝指教，本人万分感谢！

编者

# 目 录

## 第一部分 声学理论基础

<b>第 1 章 声音的物理特性及声波在闭室中的传播</b> .....	2
1.1 声音的传播.....	2
1.2 声音的传播速度.....	3
1.3 周期与波长.....	4
1.4 频率与波长.....	5
1.5 振幅.....	7
1.6 相位.....	9
1.7 分贝.....	11
1.7.1 对数基本知识.....	11
1.7.2 韦伯定律——分贝及其计算方法.....	11
1.8 分贝在音响工程中的应用.....	14
1.9 声音的声压级和声强级.....	17
1.10 声压级的测量.....	19
1.11 以分贝表示的声压级加法.....	19
1.12 室外声音声压级按倒数平方定律衰减.....	20
1.13 声音的反射.....	22
1.14 声音的吸收.....	23
1.15 声音的绕射、折射以及温度和风对声音的影响.....	24
1.16 声源和接收器的指向性.....	25
1.17 近声场和远声场.....	27
1.18 室内声音的反射与衰减.....	28
1.19 自由声场与混响声场.....	32
1.20 声音在小房间内的传播.....	35
1.20.1 驻波现象及房间声学模式.....	35
1.20.2 房间模式频率间隔研究.....	38
1.20.3 矩形房间内的房间模式.....	39
1.21 推荐的最佳混响时间.....	43
<b>第 2 章 声音的主观感受与声强计量</b> .....	46
2.1 声强的主观感受——响度.....	46
2.1.1 响度.....	46

2.1.2	人耳听觉的非线性——等响曲线和响度级	47
2.1.3	计权网络	49
2.2	频率的主观感受——音高（音调）	50
2.3	声音信号波形的特点	52
2.3.1	声音信号的时程特征	52
2.3.2	声音信号的频谱特点	53
2.3.3	声音信号波形的不对称特点	55
2.4	波形的主观感受——音色	55
2.5	室内声的组成及直达声在听感中的作用	56
2.6	混响声特性以及在听感中的作用	58
2.7	前期反射声的特性以及在听感中的作用	60
2.8	人类听觉的掩蔽效应	61
2.9	空间域的主观感觉——双耳听音定位	62
2.10	关于反射声和混响声的心理声学探讨	64
2.11	声音信号的计量	67
2.11.1	声音信号强度的计量以及声音信号的峰值因数与峰平比	67
2.11.2	声学测量仪器的计量时间特性	71
2.11.3	音频的常用测量仪表	71
2.12	声音信号动态范围与电声系统的动态阈	76
<b>第3章</b>	<b>乐器、音乐和语言的声学特性</b>	<b>78</b>
3.1	乐器的声学特性	78
3.1.1	乐器的频率范围和声谱	78
3.1.2	乐音的音色	81
3.1.3	音乐和乐器的统计特性	82
3.2	语言的声学特性	87
3.2.1	语音、音节与声调	87
3.2.2	语言的平均声谱与元音共振峰	88
3.2.3	汉语普通话辅音的声学特性	91
3.2.4	语声的声功率、声强级及动态范围	92
3.2.5	声调的物理特性	93
3.3	歌声的声学特性	94
<b>第二部分 音频设备与后期编辑处理</b>		
<b>第4章</b>	<b>声音的拾取</b>	<b>98</b>
4.1	传声器原理	98
4.2	传声器的主要参数	102
4.3	单只传声器使用注意事项	106

4.4	立体声传声器	112
4.5	环绕声传声器	121
<b>第5章</b>	<b>调音控制系统</b>	<b>130</b>
5.1	调音台的功能及其分类	131
5.1.1	调音台的基本功能和辅助功能	131
5.1.2	调音台分类	131
5.2	调音台的结构	132
5.2.1	调音台的系统结构	132
5.2.2	调音台的信号处理过程分析	133
5.2.3	调音台声音信号的监测与监听	138
5.2.4	对讲系统	143
5.3	调音台的基本技术指标	143
5.4	调音台的专门部件	146
5.4.1	幻象电源	146
5.4.2	射频滤波器	149
5.4.3	衰减器	149
5.4.4	负反馈放大器及信号混合电路	151
5.4.5	均衡器	152
5.4.6	常用乐器均衡器使用参考资料(部分摘自互联网)	156
5.5	录音室基本系统	161
<b>第6章</b>	<b>声处理设备原理及应用</b>	<b>163</b>
6.1	限幅器和压缩器	163
6.1.1	压缩限幅器的基本工作原理	164
6.1.2	压缩限幅器参数调整建议	168
6.1.3	压缩限幅器应用技巧	172
6.2	扩展器和噪声门	174
6.2.1	扩展器/噪声门的一般工作原理	175
6.2.2	扩展器/噪声门的调控技巧	178
6.2.3	扩展器/噪声门的应用建议	184
6.2.4	历史上的压缩器和扩展器	187
6.3	降噪器	189
6.3.1	音频噪声类型	189
6.3.2	双端降噪器的一般原理	192
6.3.3	Dolby-C型双端降噪系统	193
6.3.4	单端模拟信号动态降噪器的一般原理	197
6.3.5	单端数字信号降噪处理概述	198
6.3.6	单端数字信号降噪处理软件介绍	202



6.4	啞声控制器	206
6.4.1	啞声与危害	206
6.4.2	啞声控制器原理与软件介绍	207
6.5	均衡器	210
6.5.1	均衡器的一般工作原理	210
6.5.2	均衡器的特性分类	212
6.6	听觉激励器	216
6.6.1	听觉感知与听觉激励的基本原理	216
6.6.2	听觉激励器的一般工作原理	218
6.6.3	Aphex Aural Exciter-Type III听觉激励器介绍	219
6.7	延时器	223
6.7.1	延时器的一般工作原理	223
6.7.2	电子延时器与数字式延时器的工作原理简介	225
6.7.3	ModMachine 延时器插件介绍	227
6.8	混响器	229
6.8.1	硬件式数字混响器	230
6.8.2	软件式数字混响器	234
<b>第7章</b>	<b>电子计算机数字音频工作站</b>	<b>249</b>
7.1	数字音频工作站的概念	249
7.2	数字音频工作站的类型	251
7.2.1	概述	251
7.2.2	数字音频工作站的分类	253
7.3	专业数字音频工作站的特征	255
7.4	音频输入/输出和核心处理部件	256
7.5	计算机音频工作站应用软件	259
7.5.1	通用软件	259
7.5.2	专用软件	261
7.6	音频工作站的基本功能	264
7.6.1	无损编辑	265
7.6.2	基本编辑处理工具	266
7.7	Pro Tools 专业音频工作站基本操作	270
7.7.1	基本概念	271
7.7.2	Session 基础	275
7.7.3	系统资源与设置	278
7.7.4	传动控制器	278
7.7.5	导航	278
7.7.6	视图与缩放	279
7.7.7	声道与轨道	281

7.7.8	片段表	283
7.8	Pro Tools 音频工作站录音基础	284
7.8.1	录音前的准备工作和录音	284
7.8.2	不用混音台监听 MIDI 乐器的方法	287
7.9	Pro Tools 音频工作站编辑基础	287
7.9.1	编辑模式	288
7.9.2	编辑工具	288
7.9.3	编辑片段	288
7.9.4	播放表与非破坏性编辑	290
7.10	混音基础	290
7.10.1	各种控制器的使用与信号路径分配	291
7.10.2	自动化混音	293
7.10.3	Bounce 到磁盘	295
7.10.4	Dithering 加入颤动信号处理	295
7.11	Plug-Ins (插件)	295
<b>第 8 章</b>	<b>数据存储、传输与同步</b>	<b>300</b>
8.1	数字音频文件格式	300
8.2	音频设备同步与时间码	303
8.2.1	位置基准与时钟基准	303
8.2.2	SMPTE 和 ISO/EBU 时间码	304
8.2.3	时间码格式介绍	305
8.2.4	记录时间码	307
8.2.5	与电影原始素材实现同步的方法	308
8.2.6	与其他音视频设备实现同步的方法	310
8.3	数字音频设备连接与同步	311
8.3.1	概述	311
8.3.2	数字音频设备中常见的数字音频接口	312
8.3.3	数字时钟与字时钟同步原理	313
8.3.4	数字音频系统中同步时钟的连接与设置	314

### 第三部分 MIDI 音频

<b>第 9 章</b>	<b>MIDI 原理</b>	<b>318</b>
9.1	什么是 MIDI	318
9.1.1	电子乐器之间通信的语言	318
9.1.2	MIDI 端口	318
9.1.3	MIDI 装置与计算机连接	320
9.1.4	直通盒连接方式	320

9.1.5	MIDI 通信 .....	322
9.1.6	使用 MIDI 的优越性 .....	323
9.1.7	音序器 (Sequencer) 系统 .....	324
9.2	MIDI 传输和接收的信息种类 .....	327
9.2.1	MIDI 的通道信息和系统信息 .....	327
9.2.2	实际的 MIDI 执行表 .....	332
9.3	如何避免 MIDI 系统发生问题 .....	335
9.4	MIDI 规范 .....	337
9.4.1	概述 .....	337
9.4.2	MIDI 数据信息的格式 .....	338
9.4.3	通道声音与控制信息 .....	338
9.4.4	通道方式信息 .....	347
9.4.5	系统共用信息和系统实时信息 .....	348
9.4.6	系统专用信息 .....	349
9.4.7	系统专用代码的扩充 .....	351
9.5	标准 MIDI 文件格式 .....	352
9.5.1	概述 .....	352
9.5.2	音序、轨道、块和元事件：文件块结构 .....	353
9.5.3	MIDI 文件例子 .....	359
9.6	其他类型 MIDI 文件格式 .....	362
9.7	MIDI 的综合应用 .....	363
9.7.1	MIDI 控制器 .....	363
9.7.2	MIDI 音序器 .....	364
9.8	MIDI 的传送 .....	366
9.8.1	MIDI-DIN .....	366
9.8.2	串口、并口与游戏端口 .....	367
9.8.3	以太网和互联网 .....	368
9.8.4	IETF RTP-MIDI .....	369
9.8.5	USB 和 FireWire 接口 .....	369
9.9	关于 GM (通用 MIDI) .....	369
9.9.1	GM 标准 .....	369
9.9.2	GM 最小声音模块规范 .....	373
9.9.3	GM 2 简介 .....	374
9.9.4	GM Lite 简介 .....	374
9.10	DLS Level 1 (1997) 简介 .....	375
9.10.1	概述 .....	375
9.10.2	解决方法 .....	376
9.10.3	解决目标 .....	376
9.10.4	设计概述 .....	377

---

9.10.5 DLS 软件	378
9.10.6 DLS 硬件	381
附录 A 部分西洋乐器的基频范围	382
附录 B 部分乐器的指向性图形	383
附录 C 常见专业录音用传声器的主要电声参数	385
附录 D Neumann D-01 数字传声器简介	387
附录 E 多通道传声器阵列速查表	388
附录 F BEHRINGER MX9000 调音台原理图	397
附录 G 录音室 MIDI 系统接线图	399
附录 H 歌舞厅、夜总会扩声系统接线图	400
附录 I 各种材料和声学结构吸声系数表	401

# 声学理论基础的声学

## 声学理论基础的声学

### 第一部分 声学理论基础

声学理论基础的声学

声学理论基础的声学

# 第1章 声音的物理特性及声波 在闭室中的传播

与画家希望了解油画颜料的特性一样，录音工程师和音乐家也应该掌握声音的特性及产生与传播的知识，还应该掌握影响人耳主要听觉特性的物理声学、心理声学等方面的基本原理。所有的录音工程师和音乐家都在与声音打交道，都应该用声音的物理特性、客观量度和更多的主观感觉等方面的理论和规律去指导工作。

从本质上来说，声波其实就是由机械振动或气流的扰动而引起周围弹性物质产生振动的现象，因此声波也可称为弹性波。引发声波的物体称为声源，声波所遍及的空气范围称为声场。

声波既可以在空气中传播，也可以在固体或液体中传播，因而声波具有一切波动现象所具有的物理特性，如声波的反射、绕射、折射和干涉等现象。

本章主要研究声音的物理特性和有关声音的物理度量，并对声音在自由场和小房间的传播规律进行一些探讨。

## 1.1 声音的传播

人们生活在地球大气层的底部，空气如同大海一样，离海面愈深密度愈大，对人们的压力也愈大。度量空气压力有许多不同的单位，但是大多数人熟悉的是大气压力单位，标准单位为帕（Pa）。

正是由于大气压压力高低差异及相互作用的能量变化，才能引起空气分子从密集（比较高的压强）向比较不密集（较低的压强）的方向波动。当分子被推动得相互靠近的时候叫做压缩，当它们被拉开的时候就叫做稀疏。

假如一个振动的物体或振动的表面足够大，那么由于它的振动会把能量传递给它周围的空气，于是就产生了声音。再进一步说，由于声波是弹性波，所以声源的振动能策动弹性介质质点往返振动并互相推挤而形成声音。空气压力来回波动引起人的耳膜振动，使人感觉到声音的存在。一般地说，可以给声音下这样的定义，即它是高于或低于正常气压的压力变化。这些通常在大气压方面的微小变化称为声压，并看作为声波压力的波动。

声音的传播必须要有介质存在，否则声音就不能从一个地方传播到另一个地方。声波仅存在于声源周围的介质中，没有空气的空间里不可能有声波存在。声音不仅可以在空气中传播，也可在水、土、金属等物体内部传播。

通过空气传播的单谐振动声波，将会在空气中引起类似正弦曲线的压力变化，如图 1-1 所示。空气中的声波是纵波，在那里空气分子的波动是按声波的传播方向运动的。随着声

波的通过，在声音的传播方向上空气分子往返运动，这就是纵波的特性。经过物理学者用斯莱克 (Slinky) 模型证明，在该模型内的一端快推活塞，将会引起空气在它的长度方向上按纵波传递。

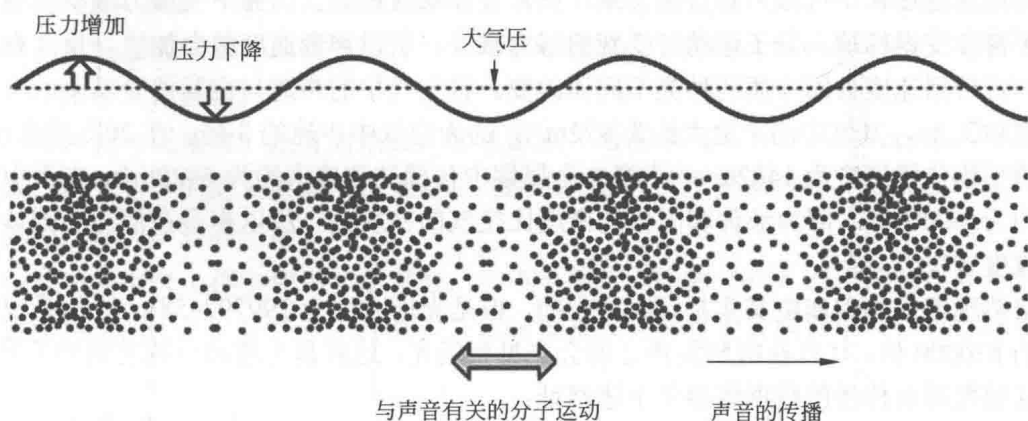


图 1-1 通过空气传播的单频声波会在空气中引起类似正弦曲线的压力变化

声波中的任何空气分子实际上并不会向远处移动，而只是在它们的最初位置附近振动，从而向邻近分子传播它们的运动能量，如同一个台球撞击另外一个台球一样。声波也是进行波的一种形式，在被声源扰动的空气中，未必每一个空气分子都会撞击你的耳膜，但是它们总会把自己的能量传递给邻近的其他分子。

事实上，声音经过空气或其他介质传播时的确切特征是极为复杂的，它会形成各类不同的声场，从而产生不同性质的传播类型和特征。

## 1.2 声音的传播速度

任何波动现象都具有以下几种最基本的物理特性，即波的传播速度、周期与波长、波的频率以及波的振幅和两个或多个波间的相位关系等特性。

声音在空气中的传播速度——声速，是由空气自身条件决定的。可用 (1-1) 式大概计算在海平面上干空气（即不考虑湿度）中声波传播的速度。

$$C=331.4+0.6 T_c \quad (1-1)$$

式中， $C$  为声音速度 (m/s)； $T_c$  为摄氏温度。

例：用式 (1-1) 计算温度为  $20^\circ\text{C}$  时的声速。

解：

$$C=(331.4+0.6 \times 20) \text{ m/s}=343.4 \text{ m/s}$$

同样可计算出，温度在  $15^\circ\text{C}$  时，其声音速度为  $340\text{m/s}$ 。在其他温度下声音速度是多少，请到下面的网站利用其提供的计算工具自行计算：

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/sound/souspe.html#c1>

从上面的计算可以得出这样的结论：温度升高，空气分子运动速度加快，传递声音能

量的速度加快，所以声速加快；温度降低，空气分子运动速度就会减慢，传递声音速度减慢，所以声速就会下降。

介质的形态（固态、气态或液态）、密度和运动速度直接影响到声波传播的速度。声音的传播速度还和空气压力有直接关系，如果在高海拔地区，因为空气压力减小，空气内的分子密度变得稀疏，分子运动时受到的阻力减少，所以声音速度就会加快，反之亦然。

声音传播速度会因介质的种类不同而改变。将空气中的声速与在其他介质中的声速比较，在  $0^{\circ}\text{C}$  时，氢气中的声速大约为  $972\text{m/s}$ ，约为空气中声速的 3 倍；在  $20^{\circ}\text{C}$  的海水中，声音的平均传播速度为  $1482\text{m/s}$ ；声音在金属铝中传播的速度大约为  $6420\text{m/s}$ ；在钢中的声速大约为  $5000\text{m/s}$ 。因为液体和固体的密度比空气的密度高，所以声音在液体和固体中的传播速度较快。

自然现象中的雷和电其实是同时产生的，但是光速大约为  $299792458\text{m/s}$ ，约是空气中声速的 870000 倍，往往在听到雷声之前会先见到闪光，这就是光速和声速之间的差异。声音在其他媒质里传播的数据请参考下述网址：

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/tables/soundv.html#c1>

### 1.3 周期与波长

常用 4 个基本品质来表示声波的基本物理特性，即频率、振幅、波形和相位。声波是一种非常复杂的振动波形，要了解声波的特性，有必要从简单的波形开始学习。

简谐振动的波形就是数学上的正弦波曲线，它是一种最简单的振动，是唯一能产生单谐频率的波形。这种振动可以通过弹簧球的上下跳动，或者是具有适当匀速位移的钟摆在摆动时的自然运动来解释。如图 1-2 所示，这是一种周期运动，周期运动也可以看作是一个点沿圆周做匀速运动时在一个匀速运动的平面上的投影。

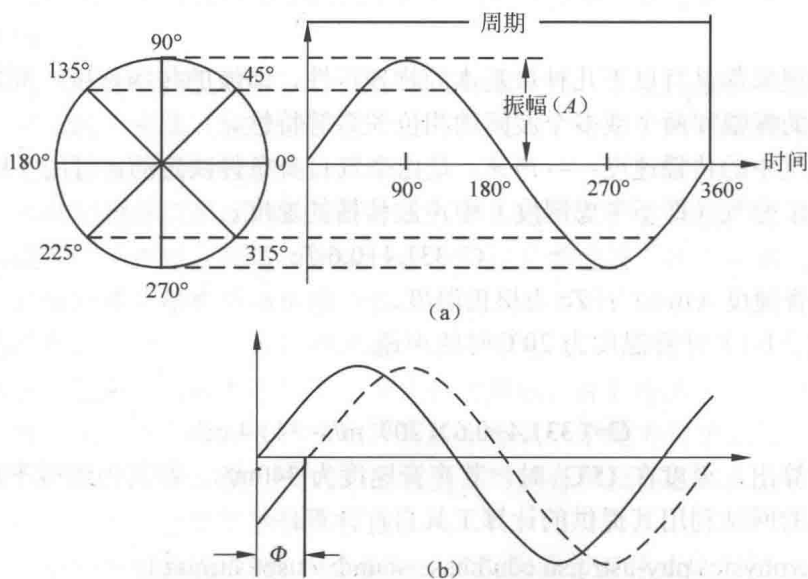


图 1-2 正弦波的产生、振幅和周期



正弦波的一个周期构成了一个完整的  $360^\circ$  圆周。正弦波的一周所需要的时间称为周期 ( $T$ )。与其相关的一个术语是频率, 它表示在单位时间间隔内正弦波的周期数。例如, 一个正弦波的周期是  $1/2\text{s}$ , 即  $T=0.5\text{s}$ , 那么它的频率是  $1/T$ , 即每秒 2 周。可以看出频率即为周期的倒数, 赫兹 (Hz) 是每秒多少周的频率单位。由于正弦波的周期起点是可以变化的, 即正弦波上的任意一点都可作为一个周期的起点, 于是将正弦波相邻两个周期起始点之间的距离定义为波长。

一些声波 (周期波) 是有周期的, 即从原点 (通常大气压下) 到最大振幅, 然后返回到原点, 再变为负的最大振幅, 直到返回到原点, 这样一个重复过程。这种从起点到终点的往返振动称为声波的一周。

正弦波在电气工程中非常普遍, 如市电就是频率为  $50\text{Hz}$  的正弦波。其在音频界也有许多特定的用途, 如声学工程测量、录音设备校验和电子合成器中的音色合成等。

## 1.4 频率与波长

1.3 节已经介绍, 每单位时间内的周期数称为频率 ( $f$  为它的代表符号, 如图 1-3 所示), 通常是按每秒多少周或周期数来度量频率的。频率代表了物体振动的快慢, 通常是指在单位时间内物体的振动次数。为了方便, 过去是按每秒的周期数 (cps) 来表示, 现在规定频率的度量单位为赫兹 (Hz), 是用 19 世纪物理学家赫兹的名字来命名的。常把  $1000\text{Hz}$  记为  $1\text{kHz}$  (千赫), 在录音行业中只简单说 “ $1\text{k}$ ”。

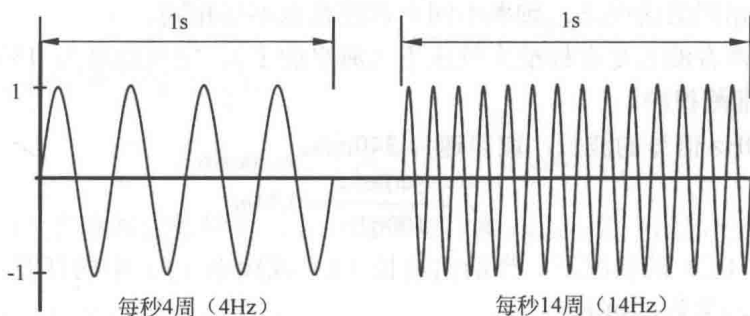


图 1-3 两个不同频率的正弦波的波形

人耳的听觉范围是有一定限度的, 不是任何频率的声音都可以听得见。一般来说, 年轻人的听觉频响范围大约为  $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ , 随着年龄的增长能听到的最高频率会降低, 60 岁左右的人最高能听到  $16\text{kHz}$  已是相当不错的了。

与人类相比, 许多鲸和海豚能产生并且感觉到  $175\text{kHz}$  的声音; 蝙蝠能发出并响应的声音频率更高, 它使用自身的微波回声位置系统探测食物。

人耳听觉的频率范围也普遍地用在计算机音乐演播室中。对音频频带的主要划分如表 1-1 所示。