



高等院校“十三五”规划教材



现代 音响录音技术

Xiandai Yinxiang Luyin Jishu

附带光盘

陈俊海 © 编著



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位



高等院校“十三五”规划教材

现代音响录音技术

Xiandai Yinxiang Luyin Jishu

陈俊海 © 编著

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代音响录音技术 / 陈俊海编著. —北京: 中国轻工业出版社, 2017.11

ISBN 978-7-5184-1631-8

I. ①现… II. ①陈… III. ①录音—技术 IV. ①TN912.12

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第230811号

责任编辑: 毛旭林 责任终审: 劳国强 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 锋尚设计 责任校对: 晋洁 责任监印: 张可

出版发行: 中国轻工业出版社(北京东长安街6号, 邮编: 100740)

印刷: 北京君升印刷有限公司

经销: 各地新华书店

版次: 2017年11月第1版第1次印刷

开本: 889×1194 1/16 印张: 20

字数: 524千字

书号: ISBN 978-7-5184-1631-8 定价: 48.00元

邮购电话: 010-65241695

发行电话: 010-85119835 传真: 85113293

网址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请与我社邮购联系调换

161298J1X101ZBW



编委会

主任：陈俊海

副主任：李 遥 徐涛东

编 委：颜 飙 罗 斌 尚 晖 张文文

王占威 郭思明 张红阳 罗 依

李豫虔 边 策 胡 彤 彦 平

前 言

“音响”与“录音”是音频技术的两个方面，也是近乎相反的两个音频技术工艺——“扩声”与“存储（录制）”。通常，我们把研究如何将声音通过电子手段放大，如何提高信噪比，如何控制声场环境，如何补偿声学缺陷等方面的技术称之为“音响技术”；而把研究如何通过各种工艺将声音高保真地存储下来，如何控制录制环境的声学条件，如何编辑、修改、美化存储内容等方面的技术称之为“录音技术”。

在实际工作中，音频技术人员可能会接触到这两个方面（音响与录音）的内容，只是根据工作的具体需要可能会有不同的工作重点，也有的项目是扩声与录制同时进行，可由不同的人员分工负责。“音响”与“录音”虽然是音频技术的两个方面，但是这两方面在声学、电学基础知识上是一致的，所用的设备包括操作技术也有很多是相同的。随着数字技术在音频领域的全面应用，“音响”与“录音”技术的界限也越来越模糊。

为了让当代音频技术人员熟练掌握音频领域的两个技术方面，做到一专多能、融会贯通，本书特意将音响、录音技术汇编为一册，而市面上大部分教材是将音响、录音技术分册讨论的。本书从音响、录音技术必备的基础知识为出发点，介绍了本专业需了解和掌握的声学基础、电学基础，音响录音设备的功能原理及话筒技术等；接着介绍了音响技术中音响系统的配接，调音技巧、声学模拟工程软件EASE及声学测量软件Smart的应用；然后介绍了录音技术中录音系统的配接，数字音频工作站Nuendo/Cubase，录音的方法及混音技术；最后通过实例讲解音响录音技术的实战技巧，为使读者能学以致用及巩固书本知识。

本书力求深入浅出地讲解音响录音技术的知识要点，知识内容的编写以系统、专业、实用为原则。本书可作为有志于从事音响、录音行业人员的自学教程，也可以作为全国各类高等院校及高职高专音响、录音、影视、传媒、广告、游戏及舞台艺术等专业的教材或教学参考书。

本书在编撰过程中得到了长期工作在音响录音行业的资深专家河南大学王占威先生，青岛农业大学颜飙先生，广州文艺职业学院徐涛东、罗斌老师，广州万昌音响公司李遥、胡彤先生，深圳电视台高级工程师尚晖、深圳锐得一号录音棚太阳及深圳市工程师联合会音像专业委员会郭思明、颜平、李阳、汪晓琦、楚棘等委员的鼎力支持与悉心指导，在此一并表示感谢！

由于时间匆忙，本人能力水平有限，书中难免有疏漏及谬误之处，敬请读者批评指正。在阅读过程中如发现错误或遗漏，欢迎与作者取得联系，我们会尽快进行相应的修改工作。联系方式：806989126@qq.com

陈俊海
2017年8月

目录

第1部分 基础知识

第1章 声学基础

1.1 声音的产生

1.2 声波的特性

1.2.1 声速、频率、周期与波长

1.2.2 振幅

1.2.3 声压与声压级

1.2.4 相位与相移

1.2.5 音色与谐波

1.2.6 波形包络

1.3 声波传播的方式

1.3.1 反射、散射与绕射

1.3.2 衰减、吸收与干涉

1.4 波形的类型

1.4.1 正弦波

1.4.2 锯齿波

1.4.3 方波

1.4.4 三角波

1.5 人耳的听觉特性

1.5.1 听觉的感知

1.5.2 人耳对频率的感知范围

1.5.3 听阈与痛阈

1.5.4 双耳效应

1.5.5 哈斯效应

1.5.6 声音加倍

1.6 声学环境

1.6.1 室内声场

1.6.2 声染色

1.6.3 声波的控制

1.6.4 吸声与隔声

1.6.5 场馆声学环境

1.6.6 舞台声学环境

第2章 电学基础

2.1 电子元器件

2.1.1 电阻器

2.1.2 电容器

2.1.3 电感器

2.1.4 变压器

2.2 电流、电压与阻抗

2.2.1 电流

2.2.2 电压

2.2.3 阻抗

2.3 电源与电路

2.3.1 直流电源

2.3.2 交流电源

2.3.3 电路

2.3.4 接地

2.4 分贝 (dB) 与信号电平

2.4.1 分贝的定义

2.4.2 信号电平

2.5 线缆与接口

2.5.1 线缆

2.5.2 接口

2.6 音响录音设备的主要性能指标

2.6.1 频率响应 (Frequency Response)

2.6.2 总谐波失真 (THD)
(Total Harmonic Distortion)

2.6.3 信号噪声比 (Signal-to-Noise
Ratio)

2.6.4 动态范围 (Dynamic Range)

2.7 数字音频

2.7.1 数字音频概述

18

21

21

21

21

21

21

21

21

22

22

22

22

23

23

23

23

23

24

25

25

26

28

28

29

29

29

29

30

30

30

2.7.2	数字音频的质量参数	30	3.7.1	基本概念	67
2.7.3	数字音频的文件格式	31	3.7.2	数字音响处理系统的特点	67
2.8	立体声	34	3.8	录音放音设备	68
2.8.1	二声道(2-0)立体声	34	3.8.1	数字录音机	68
2.8.2	三声道(3-0)立体声	34	3.8.2	激光唱机与唱片	68
2.8.3	四声道(3-1)立体声	35	3.8.3	DVD与蓝光	69
2.8.4	5.1声道(3-2)立体声	35	3.8.4	媒体播放器	69
2.8.5	其他多声道音频格式	35	3.9	D.I盒	70
第3章	设备	37	3.10	数字音频工作站	70
3.1	话筒	37	第4章	话筒技术	71
3.1.1	话筒的分类与工作原理	37	4.1	话筒的声学特性	71
3.1.2	话筒的特性	41	4.2	话筒摆放的原则	71
3.1.3	话筒的选用	44	4.3	话筒摆放的距离	72
3.1.4	话筒的附件	46	4.3.1	通用距离	72
3.2	功放	46	4.3.2	听觉试验距离	72
3.2.1	功放的分类与工作原理	46	4.3.3	远距离拾音	72
3.2.2	功放的特性	50	4.3.4	近距离拾音	73
3.3	音箱	51	4.4	乐器拾音的话筒摆放	74
3.3.1	音箱的分类	51	4.4.1	电声乐器的拾音	74
3.3.2	音箱的摆放	55	4.4.2	鼓组的拾音	77
3.3.3	音箱叠加的计算方法	56	4.4.3	打击乐器的拾音	80
3.4	调音台	57	4.4.4	原声乐器的拾音	80
3.4.1	调音台的基本功能与组成	57	4.5	人声拾音的话筒摆放	85
3.4.2	调音台的分类	59	4.5.1	独唱的拾音	85
3.5	声音处理设备	60	4.5.2	伴唱的拾音	87
3.5.1	均衡器	60	4.5.3	合唱的拾音	87
3.5.2	压缩器	62	4.5.4	语声的拾音	87
3.5.3	扩展器与噪声门	63			
3.5.4	混响器	64	第2部分	音响技术	
3.5.5	延时器	65	第5章	音响系统	90
3.5.6	多功能效果处理器	66	5.1	系统配置方案	90
3.6	分频器	66	5.1.1	音响系统的意义与作用	90
3.6.1	分频器类型	66	5.1.2	各种类型音响系统的配置	91
3.6.2	分频器的工作原理	66	5.1.3	音响系统连接的意义与要求	93
3.7	数字音频矩阵处理器	67			

5.2 系统电平匹配与调试	95	6.4.2 压限器使用技巧	130
5.2.1 电平的概念	95	6.4.3 多段压缩	132
5.2.2 电平匹配的意义	95	6.5 噪声门的使用	132
5.2.3 分贝值的种类与计算	96	6.5.1 阈值	132
5.2.4 系统电平的调试	100	6.5.2 增益变化范围	132
5.3 系统相位与声像检测	101	6.5.3 建立时间和释放时间	133
5.3.1 声像与相位的概念	101	6.5.4 保持时间	134
5.3.2 相位的检查与解决方法	101	6.6 其他动态处理设备	134
5.4 功率放大器与扬声器的配接	103	6.6.1 扩展器	134
5.4.1 功放与音箱的配接	103	6.6.2 向上扩展器	135
5.4.2 功率放大器输出方式	105	6.6.3 闪避处理器	135
5.4.3 音箱串并联计算	106	6.7 混响延时器的使用	135
5.5 网络音频系统	107	6.7.1 混响延时器常用参数	135
5.5.1 网络音频的特点	107	6.7.2 使用混响器与延时器的目的	138
5.5.2 Cobra Net工作原理与特点	109	6.8 分频器的使用	139
5.5.3 AVB工作原理与特点	109	6.8.1 滤波器的组成	139
5.5.4 Dante工作原理与特点	110	6.8.2 分频器的相位	140
5.5.5 MADI的特点	110	6.8.3 分频点	140
第6章 调音技巧	111	6.9 现场混音的技巧	140
6.1 模拟调音台的使用	111	6.9.1 混音的搭建	141
6.1.1 模拟调音台的输入输出接口	111	6.9.2 混音的融合	142
6.1.2 模拟调音台调试技巧	112	6.9.3 创造声音动态	144
6.2 数字调音台的使用	114	6.9.4 有效地使用混响器	145
6.2.1 数字调音台的特点	114	第7章 声学模拟软件	
6.2.2 数字调音台举例	116	EASE的应用	147
6.2.3 数字调音台使用流程	117	7.1 厅堂设计的一般要求	147
6.3 均衡器的使用	118	7.1.1 声学设计软件概述	147
6.3.1 均衡器作用	118	7.1.2 厅堂音质设计的一般要求	148
6.3.2 频段与主观感受	119	7.2 EASE软件的应用——建模	150
6.3.3 滤波器的种类与选择	119	7.2.1 建模流程	150
6.3.4 图示均衡器与动态均衡器	122	7.2.2 基本画法	151
6.3.5 均衡器的应用技巧	123	7.2.3 复制与拉伸法	153
6.3.6 针对不同音源的均衡处理	123	7.2.4 漏洞的产生与修复	154
6.4 压限器的使用	126	7.2.5 建立听声面和听音点	156
6.4.1 压限器面板参数调整	126	7.3 EASE软件的应用——吸声材料	157

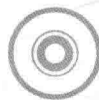
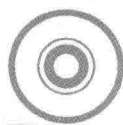
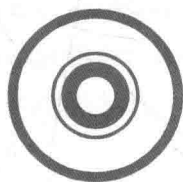
7.3.1	添加吸声材料的原则与方法	<u>157</u>	9.2.1	音频录音常用硬件	<u>181</u>
7.3.2	查看与优化混响时间	<u>158</u>	9.2.2	MIDI录音常用硬件	<u>183</u>
7.4	EASE软件的应用——扬声器	<u>159</u>	9.3	软件配置	<u>184</u>
7.4.1	添加扬声器文件	<u>159</u>	9.3.1	工作站软件	<u>184</u>
7.4.2	创建扬声器簇	<u>160</u>	9.3.2	插件	<u>185</u>
7.5	EASE软件的应用——声学模拟	<u>160</u>	9.4	系统连接	<u>186</u>
7.5.1	声压级的模拟与分析	<u>161</u>	9.4.1	音频设备的连接	<u>186</u>
7.5.2	C系列测量	<u>162</u>	9.4.2	MIDI设备的连接	<u>188</u>
7.5.3	L系列测量	<u>163</u>			
7.5.4	辅音清晰度损失与快速语言指数测量	<u>163</u>	第10章	数字音频工作站	
7.5.5	声线跟踪模拟	<u>164</u>		Nuendo/Cubase	<u>189</u>
7.5.6	直达声预听	<u>165</u>	10.1	系统设置	<u>189</u>
			10.1.1	音频设置	<u>189</u>
第8章	声学测量软件		10.1.2	视频设置	<u>192</u>
Smaart的应用	<u>167</u>		10.2	新建工程文件	<u>192</u>
8.1	声学测量软件Smaart V7介绍	<u>167</u>	10.2.1	选择工程模板	<u>192</u>
8.1.1	声学测量软件Smaart V7概述	<u>167</u>	10.2.2	选择工程文件夹	<u>193</u>
8.1.2	Smaart V7功能	<u>167</u>	10.2.3	保存工程文件	<u>193</u>
8.1.3	Smaart V7硬件配置与连接	<u>168</u>	10.2.4	设置工程文件	<u>193</u>
8.2	Smaart V7测量	<u>169</u>	10.3	音频文件的操作	<u>194</u>
8.2.1	实时频谱分析	<u>169</u>	10.3.1	导入音频文件	<u>194</u>
8.2.2	传递函数测量	<u>169</u>	10.3.2	导入音频CD	<u>195</u>
8.3	多通路声学测量	<u>170</u>	10.3.3	导出OMF文件	<u>196</u>
8.3.1	多通路测量配置与连接	<u>170</u>	10.3.4	导出MIDI文件	<u>197</u>
8.3.2	测量前配置	<u>172</u>	10.3.5	导出混音	<u>197</u>
8.3.3	系统延时的测量与调整	<u>173</u>	10.4	音轨类型	<u>198</u>
8.3.4	多通路频谱测量与优化	<u>174</u>	10.5	工程窗口界面详解	<u>199</u>
			10.5.1	菜单栏、工具栏、信息栏、标尺栏	<u>200</u>
第3部分	录音技术		10.5.2	音轨栏与音轨属性栏	<u>201</u>
第9章	录音系统	<u>178</u>	10.5.3	走带控制面板	<u>202</u>
9.1	录音空间概述	<u>178</u>	10.5.4	通道设置窗口	<u>203</u>
9.1.1	录音棚与控制室	<u>178</u>	10.5.5	调音台窗口	<u>204</u>
9.1.2	小型工作室与便携式工作站	<u>179</u>	10.6	音频录音	<u>205</u>
9.1.3	影视制作录音棚与动效棚	<u>180</u>	10.6.1	节拍与节拍器	<u>205</u>
9.2	硬件配置	<u>181</u>	10.6.2	监听设置	<u>205</u>
			10.6.3	录音操作	<u>208</u>

10.6.4	录音模式	209	12.1.4	监听的方式	233
10.6.5	听湿录干	210	12.1.5	频谱参考	234
10.7	音频编辑	211	12.2	混音的要点	234
10.7.1	音频事件条的操作	211	12.2.1	声像定位	235
10.7.2	改变音频波形的长度	212	12.2.2	音量平衡	235
10.7.3	音频波形的音量控制	213	12.2.3	音色调整	236
10.7.4	音频波形的音高调节	214	12.2.4	动态控制	237
10.7.5	参数自动控制	214	12.2.5	声场塑造	238
10.8	音频效果器的使用	215	12.2.6	个性表现	239
10.8.1	插入法	215	12.3	混音的流程	239
10.8.2	发送法	216	12.3.1	前期准备	239
10.8.3	处理法	216	12.3.2	试听与粗混	239
			12.3.3	混音计划	240
第11章	录音的方法	218	12.3.4	混音环节	240
11.1	基本录音方法	218	12.3.5	混音顺序	241
11.2	基本拾音方法	218	12.3.6	音频处理顺序	243
11.3	单声道录音与分轨录音	220	12.3.7	反复加工	243
11.4	立体声录音	221	12.3.8	输出与母带处理	244
11.4.1	概述	221	12.4	音频处理	244
11.4.2	时间差拾音方法	222	12.4.1	通用效果	244
11.4.3	强度差拾音方法	222	12.4.2	底鼓	245
11.4.4	“混合”拾音方法	224	12.4.3	基础节奏	245
11.5	多轨录音	225	12.4.4	贝司	246
11.6	环绕声录音	226	12.4.5	旋律吉他	246
11.7	各种节目形式的录音方法	227	12.4.6	键盘	247
11.7.1	古典音乐的录音	227	12.4.7	人声	247
11.7.2	流行音乐的录音	229	12.4.8	独奏乐器(主音吉他)	248
11.7.3	戏曲节目的录音	229	12.4.9	整体处理	248
11.7.4	语言节目的录音	230			
11.7.5	广播剧的录音	230	第4部分	实战技巧	
			第13章	音响技术实战	250
第12章	混音技术	231	13.1	现场演出扩声流程	250
12.1	监听	231	13.1.1	演出前的电声设计与模拟	250
12.1.1	监听的音量	231	13.1.2	演出前的准备与排演	251
12.1.2	监听的配置	231	13.1.3	现场系统搭建	251
12.1.3	监听电平的控制	233			

13.1.4 音响系统调整与检测	252	14.3 混音实例——流行摇滚歌曲	
13.1.5 现场演出	255	《往日时光》	282
13.2 音响工程设计实例	256	14.3.1 鼓组	283
13.2.1 声场分析与设计依据	256	14.3.2 贝司 (12 Bass)	288
13.2.2 扩声形式的选择	257	14.3.3 风琴 (13 Organ)	289
13.2.3 主扬声器声压级的计算	258	14.3.4 弦乐	289
13.2.4 声音清晰度及声反馈的控制	259	14.3.5 电钢琴 (17 E Piano)	290
13.2.5 声压均匀度的设计与系统 传输方式的选择	259	14.3.6 吉他	290
13.2.6 系统的可靠性与噪声的控制	260	14.3.7 色彩乐器	293
13.2.7 扩声系统的构建	261	14.3.8 人声 (26 Vocal A)	293
13.2.8 主要设备的选型	263	14.3.9 输出 (27 Stereo Out)	294
13.2.9 扩声系统设计仿真验证	264	第15章 环绕声的制作	295
13.2.10 本例扩声系统主要设备清单	264	15.1 关于环绕声	295
13.3 音响系统故障处理	265	15.2 环绕声录音与监听	295
13.3.1 音响系统故障处理原则	265	15.2.1 环绕声混录设备	295
13.3.2 音响系统故障处理方法	266	15.2.2 环绕声音箱的布置	296
13.3.3 故障处理常见问题解答	267	15.2.3 环绕声监听系统的设置	297
		15.2.4 环绕声录音连接	297
第14章 录音技术实战	273	15.3 在Nuendo中的环绕声操作	298
14.1 录音棚录音流程	273	15.3.1 总线配置	298
14.1.1 准备	273	15.3.2 将音频轨路由到环绕声通道	299
14.1.2 录音	275	15.3.3 环绕声面板操作	300
14.1.3 补录	276	15.3.4 导出环绕声音频文件	301
14.1.4 叠录	276	15.4 环绕声混音实例	301
14.1.5 缩混	277	附录1 音符与频率对应关系表	304
14.1.6 母带制作	277	附录2 常用乐器与人声的基音频率 范围表	305
14.2 综艺节目同期录音实例	277	附录3 常用乐器与人声的重要频段 特性表	306
14.2.1 设计音频系统	277	主要参考文献	307
14.2.2 音频系统的搭建	278		
14.2.3 人员分工与配置	280		
14.2.4 现场录制	281		
14.2.5 后期混音	282		



第1部分 基础知识





第1章 声学基础

1.1 声音的产生

当物体振动时，声音也随之产生。例如，拨动一根吉他琴弦，会导致机械振动，这种琴弦振动是肉眼可见的。与此同时，也能听到振动所发出的声音。当琴弦振动时，就会引起周围空气粒子的前后振动，并带动其他粒子一起振动，循环往复。所以，振动产生声波（好比石头落入水中产生涟漪），而声波的传递使周围的空气呈现压缩和扩展状态。除了振动以外，声音的传播还需要介质来实现。最普通的介质是大气或者称为空气。当然，声音也同样可以通过其他介质传播，例如水、木头和金属，但声音是不能在真空中传播的。声音在完成了传播后，需要接收体来对声音进行接收。接收体可以是人，也可以是话筒设备。

当声音进入人的耳朵后，使人耳中的鼓膜引起共振，从而将振动的信号传递给人的大脑。当声音作用在话筒的振膜上时，话筒将振膜的振动转换成电信号，并经过导线，将信号记录在录音机当中。图1-1展示了声音的产生、传播与接收过程。

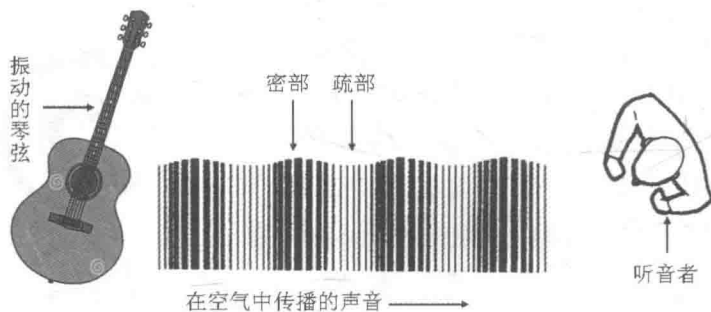


图1-1 声音的产生、传播、接收过程

1.2 声波的特性

1.2.1 声速、频率、周期与波长

(1) 声速

声波在传声介质中，每秒传播的距离称为声波的传播速度，简称声速，用符号 c 表示，单位是米/秒（m/s）。声音在不同的介质中传播速度是不同的，在标准大气压下， 0°C 的空气中，声音的速度是 331.4m/s 。空气的温度越高，声速越快，温度每增加 1°C ，声速增加 0.607m/s 。

声音在固体中传播的速度最快，其次是液体，再次是气体。如在水中一般是 1450m/s ；在钢铁中约为 5000m/s 。由此可见，声速决定于传声介质的性质，而与声源频率及强度无关。一般计算中，取声速 $c=340\text{m/s}$ 。

声速与距离、时间的计算公式： $t=D/c$ （ t 表示时间， D 表示距离， c 表示声速）

(2) 频率

振动体每秒振动的次数称为频率，用符号 f 表示，频率的单位是赫兹（HZ），简称赫。振动体每秒振动一次时表示为 $1\text{ Hz}=1$ （次/秒）。

发声体每秒振动次数越多，即频率越高，听音者感觉声音的音调越高，一般称之为声音尖锐。反之，频率低的声音音调低，听起来声音低沉。一般把频率为 $20\sim 50\text{ Hz}$ 的声音称为超低音， $50\sim 150\text{ Hz}$ 的声音称为低音， $150\sim 500\text{ Hz}$ 的声音称为中低音， $500\sim 5000\text{ Hz}$ 的声音称为中高音， $5000\sim 20000\text{ Hz}$ 的声音称为高音。C调的“1”频率是 256 Hz ，而高八度的“1”频率是 512 Hz 。

(3) 周期

振动体每振动一次即完成一次往复运动所需要的时间为周期，用符号 T 表示，单位是秒（s）。频率和周期的关系为

$$f=1/T$$

(4) 波长

物体或空气分子每完成一次往返运动或疏密相间的运动所经过的距离称为波长，用符号 λ 表示，单位是m。在一定的传声介质中，波长是由声波的频率决定的：频率高，波长短；频率低，波长长。根据频率、波长和声速的定义，三者之间有如下关系

$$\lambda=c/f$$

如常温下（ 15°C ），在空气中的声波频率为 100 Hz 时，波长为 $\lambda=c/f=340/100=3.4$ （m）；在水中的声波频率为 100 Hz 时，波长则为 $\lambda=c/f=1450/100=14.5$ （m）。图1-2是频率与波长的关系。

1.2.2 振幅

声波的振幅和它的力度或强度有关，即我们听到的音量或响度。声音的响度在波形图中直观地表示为声波上下振动的高度，声音越大，响度就越高，振幅也就越大。如图1-3所示，当声音越来越响亮时，就会发生空气分子更大的压缩与膨胀现象，波峰将会更高，而波谷会更深。声音的幅度是一个确定的物理量，因此很容易被测量。但响度却不同，因为响度是一个主观概念，每个人对于同一个声音的响度感受是不同的。一个人觉得很响的声音，在另一个人看来却并没有那么响。度量振幅的单位是分贝（dB）。人耳对于声音振幅的细微变化十分敏感，且有着非常大的听觉范围。安静无声的状态，我们称之为 0 dB ，比它响10倍的声音为 10 dB ，响度超过100倍的为 20 dB ，以此类推。单位分贝代表不同的声音音量的比率，测量的是声音的相对强度。人耳可以听到范围在 0 dB （听阈）到 120 dB （痛阈）之间的声音，接近和超过这个大小的声音，就会使人感到耳朵疼痛，并可能对听力造成

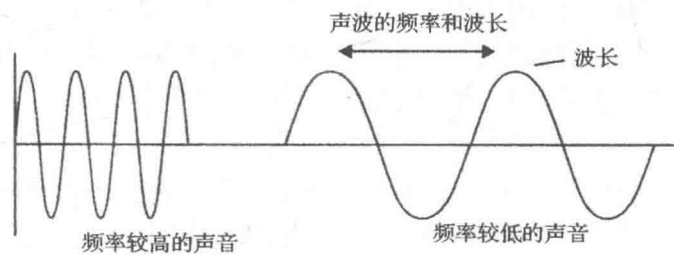


图1-2 频率与波长的关系

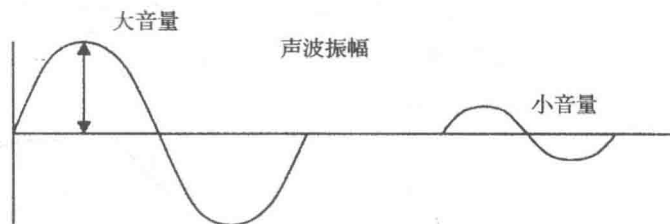


图1-3 音量与振幅的关系

到 120 dB （痛阈）之间的声音，接近和超过这个大小的声音，就会使人感到耳朵疼痛，并可能对听力造成



损伤。实际上，任何高于85dB的声音，都有可能会导致听力下降，只不过取决于听者与声源的距离和他身处这种环境中的时间长短。摇滚音乐会整场的声音，都在120dB左右，这就解释了为什么在听完一场摇滚音乐会后一两天内会有余音绕梁的感觉。

1.2.3 声压与声压级

(1) 对数的含义

对数运算只是数字表达形式的一种转换，没有其他含义。下面两个公式表示的是近乎相同的含义：

$$10^y = X \quad \log 10^X = y$$

公式相对容易理解。随着y的增加，X呈10倍、10倍地增长。比如：

$$10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1000$$

对数运算可以让我们免去算术加法的繁琐计算。以10为底，X取1000，取对数后得3。

$$\log 10^{(1000)} = 3$$

换种表达方式，公式可以回答下面的问题：“10的多少次幂是X呢？”以公式中的1000为例，“10的多少次幂是1000呢？”答案是3。 $10^3 = 1000$ ，所以 $\log 10^{(1000)} = 3$ 。

10的多少次幂是1000 000呢？很容易就知道答案是6。用公式 $\log 10^{(1\,000\,000)} = 6$ 来计算也很容易。10的六次方是100万，再来算一下10的多少次幂等于100万亿： $\log 10^{(100\,000\,000\,000\,000)} = 14$ 。

这就是在音频领域中采用对数的目的，它可以使很大的数字——可能是非常非常大的数字变得很小；让100 000 000 000 000变成14。它能让像政府预算那么大的数字变成足球比赛中的分数那么小。

(2) 声压

上面谈到物体振动带动周围介质空气产生膨胀和压缩，所谓膨胀和压缩是相对于没有声波存在时的空气而言的。实际上，没有声波存在时空气本身存在静压力，就是大气压力。假定当地环境的大气压力接近标准大气压，一个标准大气压为101.3Pa，压力的计量单位是帕斯卡，符号为Pa。由于声波的存在，使空气中的压力变化，局部被压缩的压力的压力在原先静压力的基础上增大，局部膨胀了的空气压力在原先静压力的基础上减小了。所谓声压，就是由于声波的存在引起空气的压力在原先的静压力的基础上增大或减小的量的有效值，这个变化的量和静压力比起来是非常小的。声压的单位也可以是Pa。根据统计，人耳能听到的1kHz声音的最小声压为0.00002Pa（或者写成 2×10^{-5} pa），我们将此声压称为参考气压（ P_0 ）。当声压达到20Pa时我们已经觉得声音太大了，长期听这样的声音，让人受不了。当然，比20Pa更大的声音我们还能听，但是更难受。如果声压继续增大，可能对人耳产生永久性损伤。

(3) 声压级

上面讲到人耳能听到最小声压和能忍受的最大声压相差很大，达到100万倍以上。实际上，人耳对声音响度的感觉与声压的对数关系更接近。为了讨论方便，人们又设置了声压级（SPL或Lp）这个参数来表示声压大小的等级，用对数表示，单位为分贝（dB）。

$$L_p = 20 \log 10 P / P_0 = 20 \lg P / P_0$$

式中：P——被指定的声压，Pa； P_0 ——参考声压，Pa

当 $P = P_0$ 时， $L_p = 20 \lg 0.00002 / 0.00002 = 20 \times 0 = 0$ dB，说明当指定的声压等于参考声压0.00002Pa时，其声压级为0dB，也就是说人耳刚刚能听到的1kHz声音的声压级为0dB。同理，当声压为1Pa时用声压级来表示就是94dB。

表1-1

典型环境的声压级

典型环境	声强级/dB	主观感受
飞机起飞(60m处)	120	不堪忍受
打桩工地	110	有冲击感
喊叫(1.5m处)	100	震耳
重型卡车驶过(15m处)	90	刺耳
城市街道	80	喧闹
汽车内	70	嘈杂
普通对话(1m)	60	适中
办公室	50	适中
起居室	40	清静
卧室	30	比较安静
播音室	20	很安静
落叶声	10	略微察觉
人工消声室	0	寂静

1.2.4 相位与相移

(1) 相位

这一名词说明声波在其周期运动中所达到的精确位置。相位通常以圆周的度数来计算,因而 360° 就相当于一个完整的运动周期。沿着时间轴画出波动的图形,能清楚地说明相位关系。从图1-4中可以看出,任何一个波动的起始点离其相邻波的起始点恰好是 360° 。这就说明所有波峰都是互相同相。同样,所有波谷均相距 360° 。也就是说,它们也都是互相同相。而波峰与波谷之间则是互相反相,因为它们的相位差为 180° 。

这里有一个重要的问题需要弄清楚,就是同相的声音是相加的,并易于结合;而反相的声音则是相减的,并互相抵消。

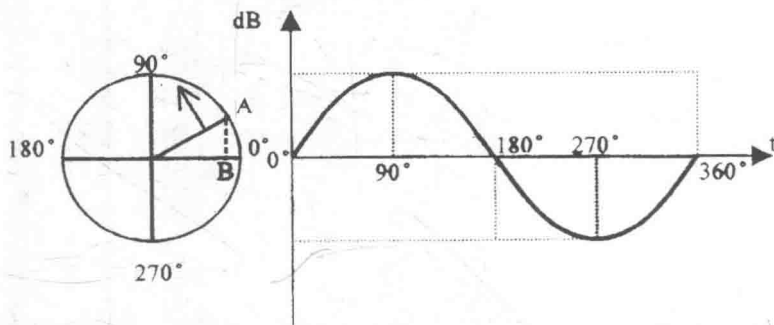


图1-4 相位

(2) 相移

相移指一个波形周期相对于另一个滞后或超前。从原理上看,相移产生两个(或更多)波形之间的时间差(产生时间差最普遍的原因就是声源的物理距离差)。比如,一个500Hz的声波的振动周期为0.002s。



假如有两个500Hz声波，其中一个晚于另一个0.001s起振（半周期），延时的声波就滞后前一个声波半个周期或 180° 。另一种典型例子就是用两只话筒来拾取一个音源，两只话筒距单音源的距离不同，因此在将两只话筒拾取的信号混合时，就会产生相应的时间延时。同样，若只用一个话筒拾取单音源，那么同时拾取到直达声和近次反射声也会产生相移。若同频率信号之间的距离差等于信号波长，信号间的相位也是相同的，但若信号之间距离等于半波长的奇数倍，那么信号间就会产生反相。以上的这些情况，无论是幅值的增长还是抵消，都会改变信号拾取后的频率响应。无论有什么样的原因，由不同话筒拾取带来的，或者由直达声和反射声带来的声学缺陷都应该尽可能避免。

当一个信号开始从0度偏移并逐渐向 180° 过渡时，彼此之间的抵消会越来越严重。一旦达到 180° 相移，将会完全抵消，而当相移从 180° 逐渐向 360° 过渡时，彼此之间的抵消也会逐渐削弱，直到达到 360° 时抵消现象消失。此时，我们重新回到了0度相位，信号之间也再次处于完全同相状态。

牢记一点，当声音听上去不对劲的时候，相位抵消很可能是罪魁祸首。

1.2.5 音色与谐波

另一个声音的特性被称为音色，与声音的波形有着很大关系。音色是区别两个声音不同的重要参照属性，即使这两个声音可能具有相同的音量大小和音调高低。图1-5是一个正弦波，我们将这种声音称之为纯音。然而，自然界中的任何声音都要比图示中的这个声音复杂得多。当按下钢琴键盘上小字1组的A键时，我们所听到的乐音振动频率为440Hz，这个频率被称为基频。然而，所有声音的实际音色除了基频以外，还包含大量的其他频率成分。如图1-6所示，这些成分中，频率为基频整数倍的频率成分被称为谐频，而频率为基频非整数倍的频率成分被称为泛音。基频、谐频与泛音三者之间的相互作用，产生了自然界中千变万化的声音音色。

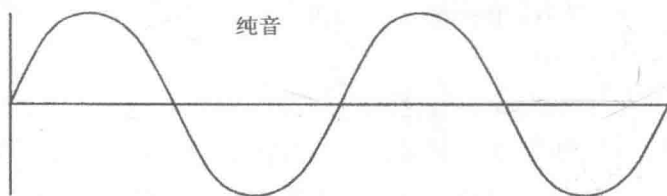


图1-5 正弦波

当两个声波叠加时，就会产生声学上的同相或反相现象。简单地说，当两个相同声波的波峰和波谷相应叠加，这两个声音就会成为一个振幅为原始声音两倍的聲音。如果一个声音的波峰与另一个声音的波谷重合，而波谷与第二个声音的波峰重合，那么它们的相位差为 180° ，两个声音就会互相抵消或大幅度衰减。自然界中大多数的声音（如语言或音乐）都有可能存在叠加的现象，成为复合声波，但很少会出现绝对的 180° 相位差。

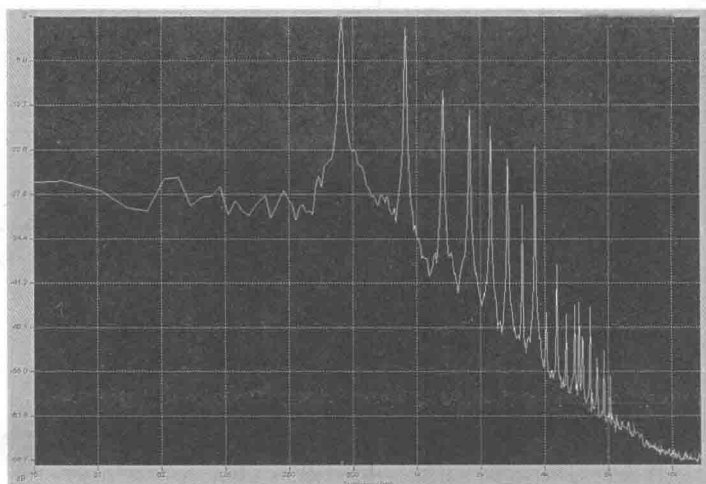


图1-6 钢琴标准音(A)的谐波成分