

现代音响与调音技术

(第三版)

◎主 编 王兴亮
◎副主编 周宝宁 张忙偶 黄锴

XIANDAI YINXIANG
YUTIAOYIN JISHU



高等学校信息工程类“十二五”规划教材

现代音响与调音技术

(第三版)

主 编 王兴亮

副主编 周宝宁 张忙偶 黄 锴

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书共 8 章, 内容包括音响技术基础知识、传声器与扬声器、音频功率放大器、调音台、音频信号处理设备、数字网络音频扩声系统、扩声系统设计和扩声系统的调音技巧等。本书围绕专业音响与调音技术展开论述, 以信号的流程为主线, 系统性较强, 注重理论与实践相结合, 具有一定的可操作性。

本书条理清晰, 通俗易懂, 内容新颖, 应用面较宽。通过本书的学习, 读者可获得音响与调音技术的基本知识和技能, 为从事音响与调音方面的工作打下牢固基础。

本书可作为高等学校本科信息类及声像技术等专业的教材, 也可作为音响工程技术人员、音响师及发烧友的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代音响与调音技术/王兴亮主编. — 3 版.

— 西安: 西安电子科技大学出版社, 2014. 4

高等学校信息工程类“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3353 - 4

I. ① 现… II. ① 王… III. ① 音频设备—调音—高等学校—教材 IV. ① TN912. 271

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 043890 号

策 划 马乐惠

责任编辑 马武装 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2014 年 4 月第 3 版 2014 年 4 月第 12 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 16

字 数 368 千字

印 数 45 001~48 000 册

定 价 28.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3353 - 4/TN

XDUP 3645003 - 12

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

第三版前言

本书自 2007 年再版以来,得到了有关信息类及声像技术等专业院校师生的大力支持,同时也得到了广大音响工程技术人员、音响师及发烧友的推崇。为了进一步满足广大使用者了解和掌握新的音响技术及系统的热切愿望,在此次再版中,编者收入了当前国内应用较为广泛的 C-MARK 网络音响系统的有关内容。

本书在修订过程中,西安三友数码电器有限公司给予了有力的支持,深圳市宝业恒实业发展有限公司也提供了详实的技术资料和图片;三友公司总经理张忙偶女士对教材的编写和内容选取提出了宝贵的意见和建议,宝业恒公司总经理周宝宁先生和产品经理黄锴先生对修订的内容和图片进行了审核和修改。

本书经过修订后,仍分 8 章,其中第 6 章数字网络音频扩声系统为新增加的内容。全书的参考教学时数为 40 学时左右。

本书由王兴亮教授任主编,周宝宁、张忙偶和黄锴任副主编,参加编写的人员有洪琪、达新宇、栾华东、田秀劳、李成斌、任啸天、侯灿靖、刘敏、刘莎、牟京燕等。

本书可作为高等学校本科信息类及声像技术等专业的教材,也可作为音响工程技术人员、音响师及发烧友的参考书,还可以作为音响调音人员参加职业技能大赛与技术鉴定的辅助材料。

由于编者水平所限,书中难免存在疏漏,欢迎广大读者提出宝贵意见和建议。

Email: 8185wxl@21cn.com; 935363445@qq.com。

编 者

2013 年 12 月于西安

第二版前言

本教材自 2000 年出版以来,得到了有关院校的肯定并被广泛使用,多次重印,总印数达 3 万册。作者在征求了各方面的意见后,根据面向 21 世纪高等学校信息工程类专业规划教材的统一要求,在第一版的基础上对部分内容做了修订。

本次修订的宗旨是追求技术的新颖性和知识的系统性,同时兼顾教材的完整性、实用性和可读性。修订中删去了一些烦琐的公式推导及比较陈旧的音响系统的介绍,增加了一些新的声源系统,如 CD 机、DVD 机、MP3 等,对音质的评价也做了补充,同时加重了调音技术的比重。修订后的教材突出了实践性教学环节,强化了调音技术,紧密联系实际,避免大篇幅的理论叙述,力求以精练、准确和通俗易懂的文字阐明相关的基础理论,尽量用实际例子说明音响技术和调音技巧。

全书共 8 章,参考学时为 40~60 学时。主要内容有传声器与扬声器、音频功率放大器、调音台、音频信号处理设备、声源设备、扩声系统设计及扩声系统的调音技巧等。

本书由王兴亮教授主编,参加编写的人员有洪琪、达新宇、栾华东、田秀劳、李成斌、任啸天、侯灿靖、刘敏、刘莎、牟京燕等。

本教材可作为信息类以及声像技术等专业大学本科教材,也可作为音响工作者和广大音响爱好者的参考书,还可作为音响调音员参加职业技能鉴定考试的参考书。

由于编者水平所限,书中难免存在疏漏和错误,欢迎广大读者提出批评和建议。

Email: 8185wxi@21cn.com, wxl20060910@yahoo.com.cn

编 者

2007 年 2 月于西安

第一版前言

音响与调音技术已成为当今社会一项较为热门的实用技术。它的应用面较广，各行各业几乎都要用到。然而，与这种较为实用且覆盖面较广的技术相应的参考书还比较少，本书正是为满足这一要求而编写的。

全书共有 9 章内容，计划课时 60 学时。

第 1 章音响技术基础，也是全书的基础，主要内容涉及到声学基础知识及相关的声学参量，介绍了声场的概念、音响系统的分类和组成，还叙述了音响系统的电声性能指标，最后介绍了立体声基础知识。

第 2 章传声器，首先介绍了动圈式传声器和电容式传声器的基本结构和原理，同时还介绍了传声器的主要技术指标，如灵敏度、源阻抗、频率范围、信噪比等，最后介绍了有线传声器和无线传声器以及它们之间的区别。

第 3 章调音台，这是音响系统的核心。本章着重讨论了调音台的功能、技术指标及工作原理，并通过实例介绍了调音台的使用方法。

第 4 章音频功率放大器，介绍了多种形式的音频功率放大器的基本原理及性能指标，并介绍了音频功率放大器的电源电路及保护电路。

第 5 章扬声器及扬声器系统，主要介绍了扬声器及扬声器系统的定义、分类和技术指标，并对扬声器的电—力—声类比分析法做了介绍，最后介绍了音箱的设计原理及扬声器单元的选择方法。

第 6 章音频信号处理设备，主要讨论了图示均衡器、压缩/限幅器、数字延时器、多效果处理器、电子分频器和听觉激励器等扩声系统中常用的信号处理设备的原理及作用，并通过这些设备的典型实例，介绍了它们的使用方法。

第 7 章声源设备，介绍了三大类声源设备，即电唱机、录音机和激光唱机，并逐一叙述各类设备中具体的设备类型和使用情况。

第 8 章扩声系统设计，着重讨论了厅堂扩声系统的功率要求和经验取值、设备选择及互连等扩声系统设计方面的基本知识，并通过实例介绍了音乐厅、剧院、歌舞厅、Disco 厅和背景音乐等扩声系统的一般性设计，包括不同系统的音箱布局。

第 9 章扩声系统调音，主要讨论了有关扩声系统调音的一些基本知识，特别要求音响操作人员要了解各种乐器和人声的频率及音色等特征。

本书的特点是按照音响系统信号流程编写，条理性强、层次分明、通俗易懂、应用面广、注重理论联系实际，具有一定的可操作性。建议在实施教学的过程中，尽量使用实物进行直观教学，并安排适量的实验课，这种理论教学与实践性教学相结合的方式，一定会收到良好的教学效果。

本书由王兴亮担任主编，洪琪担任副主编，责任编委王喜成。王兴亮、达新宇编写了第 1、2、5 章，洪琪编写了第 3、6、8、9 章，栾华东编写了第 4、7 章，全书由王兴亮、洪琪统稿。西安环球音响公司经理、高级音响师张晓鹏提供了部分资料，并提出了宝贵意见；空军工程大学副教授葛玉鹄也翻阅了部分内容，并提出了一些合理的建议，在此一并表示感谢。

由于编著者的水平有限，书中还存在着不少缺点和错误，希望读者在使用的过程中予以指正，编者深表谢意。

编 者

2000 年 3 月 20 日

于空军工程大学(西安)

目 录

第 1 章 音响技术基础知识	1
1.1 声学基础	1
1.1.1 声波的基本特性	1
1.1.2 声音的特性参数	2
1.1.3 听觉特性	6
1.2 声源、声场及室内声学	9
1.2.1 声源	9
1.2.2 声场	10
1.2.3 室内声学	11
1.3 音响系统的分类和组成	15
1.3.1 音响系统的分类	15
1.3.2 家用音响系统的组成	15
1.3.3 专业音响系统的组成	17
1.3.4 数字音响简介	19
1.4 音响系统的电声性能指标	20
1.4.1 有效频率范围	21
1.4.2 信噪比	22
1.4.3 谐波失真	22
1.4.4 互调失真	23
1.4.5 数字音响的几个主要性能指标	23
1.5 立体声基础	24
1.5.1 立体声基本概念	24
1.5.2 立体声原理	25
1.5.3 立体声系统	28
1.5.4 双声道立体声拾音	31
1.5.5 对立体声系统各环节的特殊要求	33
本章小结	34
思考与练习	34
第 2 章 传声器与扬声器	35
2.1 传声器	35
2.1.1 传声器的分类	35
2.1.2 传声器的原理结构	36
2.1.3 传声器的技术指标	37
2.1.4 有线传声器	40
2.1.5 无线传声器	41
2.1.6 传声器的选择和使用	43

2.2 扬声器	44
2.2.1 扬声器的分类	44
2.2.2 扬声器的结构、工作原理及技术要求	45
2.2.3 扬声器系统的分类	50
2.2.4 扬声器系统的一般特性	53
2.2.5 扬声器系统的设计原理	54
本章小结	68
思考与练习	68
 第 3 章 音频功率放大器	 70
3.1 音频功率放大器基础	70
3.1.1 功率放大器的基本组成及作用	70
3.1.2 功率放大器的分类	71
3.1.3 功率放大器的匹配	73
3.1.4 功率放大器的技术指标	74
3.2 功率放大器	78
3.2.1 晶体管功率放大器	78
3.2.2 集成功率放大器	85
3.2.3 放大器的电源电路及保护电路	88
本章小结	90
思考与练习	90
 第 4 章 调音台	 91
4.1 概述	91
4.1.1 调音台的主要功能	91
4.1.2 调音台的分类	93
4.1.3 调音台的结构	93
4.1.4 调音台的技术指标	94
4.2 调音台的基本原理	94
4.2.1 信号输入	94
4.2.2 频响控制	96
4.2.3 电平调整	97
4.2.4 声像方位控制	97
4.2.5 信号混合	98
4.2.6 节目放大	100
4.2.7 线路放大	101
4.3 调音台实际应用	101
4.3.1 输入通道部分(INPUT CHANNEL)	103
4.3.2 立体声输入(STEREO INPUT)	110
4.3.3 主控部分	112
本章小结	117
思考与练习	117

第 5 章 音频信号处理设备	118
5.1 图示均衡器	120
5.1.1 频率均衡处理的意义	120
5.1.2 多频段图示均衡器的基本原理	120
5.1.3 均衡器在扩声系统中的应用	127
5.2 压缩/限幅器	130
5.2.1 压缩/限幅器的功能	130
5.2.2 压缩/限幅器的基本原理	131
5.2.3 压缩/限幅器的应用	133
5.3 电子分频器	138
5.3.1 电子分频器的功能	138
5.3.2 电子分频器的基本原理	138
5.3.3 电子分频器的选型	141
5.3.4 电子分频器实例	141
5.4 效果处理器	143
5.4.1 概述	143
5.4.2 数字延时器	144
5.4.3 数字混响器的工作原理	148
5.4.4 多效果处理器的应用	149
5.5 听觉激励器	158
5.5.1 听觉激励器的基本原理	158
5.5.2 听觉激励器实例	159
5.5.3 激励器在扩声系统中的应用	160
5.6 其他处理设备	161
5.6.1 监听处理器	161
5.6.2 噪声门	161
5.6.3 声反馈抑制器	161
5.6.4 移频器	162
5.6.5 立体声合成器	162
本章小结	162
思考与练习	162
 第 6 章 数字网络音频扩声系统	 164
6.1 概述	164
6.1.1 数字音频技术	164
6.1.2 网络音频平台	165
6.1.3 CobraNet 技术	165
6.1.4 网络音频平台的技术结构	165
6.2 AudioNet 网络音频平台工作原理	166
6.2.1 处理器	168
6.2.2 传输器	169
6.2.3 软件工作原理	169
6.3 网络音频平台的连接	174

6.3.1	以太网连接	174
6.3.2	无线网络连接控制	174
6.3.3	网络数字功放	175
6.3.4	数字调音台	175
6.3.5	K 系列网络有源音箱	176
6.4	户外扩声系统实例	177
6.4.1	扩声系统设计思路	177
6.4.2	设备的选用	178
6.4.3	设备的安装与调试	179
6.4.4	无线网络控制系统	179
本章小结		181
思考与练习		181
第 7 章 扩声系统设计		182
7.1	扩声系统设计概要	182
7.1.1	室内扩声系统的功率要求	182
7.1.2	音响设备的选择	184
7.1.3	设备之间的互连	185
7.2	音乐厅、剧院扩声系统	190
7.2.1	音乐厅扩声系统	190
7.2.2	剧院扩声系统	192
7.3	歌舞厅、Disco 厅扩声系统	194
7.3.1	歌舞厅扩声系统	194
7.3.2	Disco 厅扩声系统	197
7.4	背景音乐系统	199
7.4.1	厅堂背景音乐系统的声场	199
7.4.2	扩音机与扬声器的配接	200
本章小结		209
思考与练习		209
第 8 章 扩声系统的调音技巧		211
8.1	音质的评价	211
8.1.1	音质评价的参量	211
8.1.2	音质评价的分析	215
8.2	各种乐器的频率特征	216
8.2.1	乐器及演唱者的频率范围	216
8.2.2	乐器的频率特性	216
8.2.3	声源频率对音色的影响	219
8.3	乐器的特点与话筒拾音	221
8.3.1	乐器的声功能	221
8.3.2	话筒拾音	222
8.4	乐队的编制和布局	227
8.4.1	乐队的编制	227

8.4.2 乐队的布局	228
8.5 调音技巧	232
8.5.1 响度对调音的影响	232
8.5.2 音调对调音的影响	232
8.5.3 音色对调音的影响	232
8.5.4 听力对调音的影响	232
8.5.5 室内环境对调音的影响	233
8.5.6 人耳的听觉效应对调音的影响	233
8.5.7 对人声的调音	234
8.5.8 清晰度与丰满度的关系	236
8.5.9 演员与话筒的距离和角度	237
8.5.10 酒廊与咖啡厅的音乐调音	238
8.5.11 摇滚乐的调音	239
8.5.12 伴奏音乐与歌声的比例	240
本章小结	241
思考与练习	241
参考文献	242

第 1 章 音响技术基础知识

本章首先介绍了声波特性及室内声学,对声学基本概念与术语加以解释,对室内声学有关参量的计算也作了论述,并给出有关参量的计算公式;其次介绍了音响系统的分类和组成,并对音响系统中各个单元的特点、功能及作用作了介绍;最后介绍了立体声基础知识,论述了立体声的特点、产生的原理等。本章重点及难点是电声性能指标,因为它牵涉面较宽,定量分析较多,需要熟练掌握。通过对本章的学习,读者将会对音响技术有一个整体的认识。本章所介绍的内容是学习后续各个章节的必备知识。

1.1 声学基础

1.1.1 声波的基本特性

1. 声波和声音

声波是机械振动或气流扰动引起周围弹性介质发生波动的现象。声波也称为弹性波。

声波的定义有两种:一是弹性媒质中传播的压力、应力、质点位移、质点速度等的变化或几种变化的综合;二是声源产生振动时,迫使其周围的空气质点往复移动,使空气中产生附加的交变压力,这一压力波称为声波。产生声波的物体称为声源。传播声波的物体称为媒质。声波所波及的空间范围称为声场。

扬声器发声时,会引起周围空气的振动而产生声波,其传播方向与空气质点振动方向相同。因此,可以说声波是一种纵波。

声音是声源振动引起的声波传播到听觉器官所产生的感受。所以说,声音是由声源振动、声波传播和听觉感受这三个环节所形成的。

2. 声速、波长和频率

声波可以在空气、液体及固体等媒质中传播,但不能在真空中传播。

声波在媒质中每秒钟传播的距离称为声速,用符号 c 表示,单位为 m/s 。声速与媒质的密度、弹性等因素有关,而与声波的频率、强度无关。当温度改变时,由于媒质特性的变化,声速也发生变化。

在温度为 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,声波在空气、水和钢中的声速分别为 340 m/s 、 1450 m/s 和 5100 m/s 。温度升高时,声速略有增加。

声波在一个周期 T 内传播的距离称为波长,用符号 λ 表示,单位为 m 。声波每秒钟周期性振动的次数称为频率,用符号 f 表示,单位为 Hz ,周期 T 和频率 f 互为倒数。

声速、波长和频率之间的关系为

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \quad (1-1)$$

由于在同一介质中，声速是固定不变的，因此，声波的频率越高，其波长越短，反之，则波长越长。

1.1.2 声音的特性参数

研究声音的目的是为了研究音响技术，研究音响技术是为了满足人们的听觉要求。而听觉不但取决于声音的特性，而且也与人的心理因素有关。由于人与人之间存在诸方面的差异，因此对声音这一客观现象的判断和感觉也有所不同，如对听觉的频率范围、对不同频率的感受程度以及对响度的反应等均有差异。所以，对声音进行定性分析是复杂的，而对声音进行精确的定量分析更是相当困难的。因此，我们有必要讨论与音响技术有关的声学参量。

1. 频率与倍频程

频率的概念在前面已做了论述，这里不再赘述。频率与声音的对应关系是：频率低，相应的音调就低，声音就越低沉；频率高，相应的音调就高，声音就越尖锐。人耳可以听到的声音，即可闻声的频率范围通常是 20 Hz~20 kHz，这一范围的频率称为声频或音频。频率低于 20 Hz 的称次声，高于 20 kHz 的称超声，次声和超声都是人耳听不到的，但有的动物却可以听到，这两种声频通常对人体有害。

倍频程是用来比较两个声频大小的，两个不同频率的声音作比较时，起决定意义的是两个频率的比值，而不是它们的差值。

倍频程定义为两个声音的频率或音调之比的对数，其公式为

$$n = \lg \frac{f_2}{f_1} \quad (1-2)$$

式中： f_1 ——基准频率；

f_2 ——欲求其倍频程数的信号频率；

n ——倍频程数。 n 可正可负，也可以是分数或整数。例如， $n=1$ 、 $1/3$ ，则分别称为“倍频程”和“ $1/3$ 倍频程”。在音乐中， $\dot{5}$ 与 5 之间或者 5 与 $\dot{5}$ 之间，频率正好相差一倍，我们称这两个频率间相差 1 个倍频程，即“八度音程”；而 $\dot{5}$ 与 $\dot{5}$ 之间频率相差两个倍频程。

两个频率相差 1 个倍频程，意味着其频率之比为 2^1 （即两倍的关系）；两个频率相差 2 个倍频程，意味着其频率之比为 2^2 （即四倍的关系）……依次类推，相差 n 个倍频程，意味着两个频率之比为 2^n 。按倍频程数均匀划分频率区间，相当于对频率按对数关系加以标度。

2. 声阻抗与特性阻抗

媒质在波振面某个面积上的声阻抗是这个面积上的声压与通过这个面积的体积速度的复数比值。其单位是声欧，它的倒数称为声导纳。声阻抗的实部称为声阻，虚部称为声抗。

媒质中某点的声压和质点速度的复数比值称为声阻抗率，其单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s/m}$ （帕·秒每米），它的实部是声阻率，虚部是声抗率。

声场中声阻抗 Z_a 定义为表面上的平均有效声压 p 与经过有效体积的速度 U 之比, 即

$$Z_a = \frac{p}{U} \quad (1-3)$$

声阻抗的单位是 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^3$ (牛·秒每立方米), 即 MKS 制声欧姆。由于 U 的含义不明确, 人们通常用质点速度 v 来代替 U , 因此定义声场中某位置的声压与该位置的质点速度之比为该位置的声阻抗率 Z_s , 即

$$Z_s = \frac{p}{v} \quad (1-4)$$

在理想介质中, 声阻抗也是有损耗的, 不过它不是把电量转化成热量, 而是把能量从一处向另一处转移, 即传播损耗。

平面波在传播过程中的声抗率可用下式计算

$$Z_s = \rho_0 \cdot c \quad (1-5)$$

式中: c ——声速;

ρ_0 ——介质密度。

平面自由行波在媒质中某点的有效声压与通过该点的有效质点速度的比值称为特性阻抗。媒质的特性阻抗等于媒质密度与声速的乘积。

平面声波的声阻抗率, 在数值上恰好等于介质的特性阻抗, 即平面波阻抗处处与介质的特性阻抗相匹配。

3. 声压与声压级

声波的强度可用声压、声压级来定量描述。

大气静止时存在着一个压力, 称为大气压强, 简称气压。当有声波存在时, 局部空间产生压缩或膨胀, 在压缩的地方压力增加, 在膨胀的地方压力减小。于是就在原来的静态气压上附加了一个压力的起伏变化。这个由声波引起的交变压强称为声压。

声压的大小表示声波的强弱。声场中某一瞬时的声压值, 称为瞬时声压。在一定时间内最大的瞬时声压值称为峰值声压, 声压随时间按谐振规律变化。峰值声压也就是声压的幅值。在一定时间间隔内, 瞬时声压对时间取均方根所得的值, 称为有效声压。

声压的国际单位是 Pa(帕), $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2$, 1 个大气压为 10^5 Pa 。声压与大气压相比是极其微弱的, 有时也用 μbar (微巴)作单位, $1 \mu\text{bar} = 0.1 \text{ Pa} = 0.1 \text{ N}/\text{m}^2$ 。正常人能听到的最弱声音约为 $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$, 称其为基准声压, 用符号 P_r 表示。

声振动的能量范围很大, 最弱的参考声压与人耳感到疼痛的声压之间相差 100 万倍。为了把大范围声压压缩到容易处理的声压范围, 就用“级”的概念来衡量声音的相对强度。实际上, 人耳对声音主观感受的响度并不正比于声压的绝对值, 而大体上正比于声压的对数值。声压级指的是有效声压和基准声压比值的常用对数的 20 倍, 单位为 dB, 用 L_p 表示, 即

$$L_p = 20 \lg \frac{p_e}{p_r} \quad (\text{dB}) \quad (1-6)$$

式中: p_e ——有效声压;

p_r ——基准声压。

4. 声强与声强级

各类声音除了音调的不同外,还有响度的差别。对于一定频率的声音,其响度主要由声音的强弱来决定。

在自由平面波或球面波中,设有效声压为 p ,传播速度为 c ,介质密度为 ρ_0 ,则在传播方向上的声强为

$$I = \frac{p^2}{\rho_0 c} \quad (1-7)$$

声强的单位是 W/cm^2 ,可闻声音的最小声强为 $10^{-6} \text{ W}/\text{cm}^2$,称为听阈声强;震得耳朵发痛的声音,其声强约为 $10^{-4} \text{ W}/\text{cm}^2$,称为痛阈声强。

声强级指的是对声强与基准声强的比值取常用对数后再乘以 10 所得的值,单位为 dB,用 L_I 表示,即

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_r} \quad (\text{dB}) \quad (1-8)$$

式中: I_r ——基准声强,常采用的 I_r 的值为 $10^{-12} \text{ W}/\text{cm}^2$ 。在自由行波中,声强与声压关系固定,可以由声压求声强级。但在一般情况下,两者的关系很复杂,无法由声压求声强级。

5. 声功率与声功率级

声源辐射声波时对外做功。声功率是指声源在单位时间内垂直通过指定面积的声能量。声功率是在整个可听声的频率范围内所辐射的功率,或者是在某个有限频率范围所辐射的功率(通常称为频带声功率)。声功率可表示为

$$W = U^2 R_A \quad (1-9)$$

式中: W ——声功率(W);

U ——流体的体积速度(m^3/s);

R_A ——声源的辐射声阻($\text{Pa} \cdot \text{s}/\text{m}^3$)。

声功率级指的是对待测声功率与基准声功率的比值取常用对数后再乘 10 所得的值,单位 dB,用 L_W 表示,即

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (1-10)$$

式中: W ——待测声功率;

W_0 ——基准声功率。 $W_0 = 10^{-12} \text{ W}$ 。

6. 频谱与谱级

声源发出的声音并不是单一频率的,而是同时含有许多复杂的频率。频谱是把时间函数的分量按幅值或相位表示为频率函数的分布图形。根据声音的不同,它的声谱可能是线谱、连续谱或二者之和,即混合谱。实际的声音是由许多不同频率、不同强度的纯音组合而成的。

对一个声源发出的声音的频率成分和强度所做的分析,叫做频谱分析。若用横坐标表示频率,纵坐标表示声压级,把频率与强度的对应关系用图形表示出来,就叫做频谱图,简称频谱。一曲悦耳动听的音乐与噪声的频谱图是完全不同的。

谱级也称密度级,指的是对信号在某一频率的谱密度与基准谱密度的比值取常用对数后再乘以 10 所得的值。单位为 dB,用 L_{pe} 表示,即

$$L_{pt} = 10 \lg \left[\frac{\frac{p^2}{\Delta f}}{\frac{p_r^2}{\Delta f_0}} \right] = L_p - 10 \lg \frac{\Delta f}{\Delta f_0} \quad (1-11)$$

式中： p ——通过滤波系统的有效声压；

p_r ——基准声压；

Δf ——滤波器的有效带宽；

Δf_0 ——基准带宽。

式(1-11)是声压谱级的表示式，用类似方法也可以表示其他参量的谱级。

7. 音质

声音的质量由多种因素决定，其中音调、音色、音量及音品是决定音响效果的四大要素。音调由声波的频率所决定，音量由声波的振幅所决定，音色由声波的频谱所决定，而音品则由声波的波形包络所决定。所有这些都是反映声音信号特征的物理量，是可以通过客观技术测量的。

1) 音调(Pitch)

音调表示声音频率的高低，主要与声源每秒钟振动的次数有关，是人耳对声调高低的主观评价尺度。音调的客观评价尺度是声波的频率。音调低，表示振动频率低，声音显得深沉；音调高，表示振动频率高，声音就显得尖锐。例如C调的音符6相当于440 Hz，而音符 $\dot{6}$ 相当于880 Hz，音符 $\ddot{6}$ 相当于1760 Hz。

2) 音色(Timbre)

音色是指声音的色彩和特点。不同的人 and 不同的乐器都会发出各具特色的声音，可以说它与声源振动的频谱有关。如果说，音调是单一频率的象征，那么音色则是由多种频率所组成的复合频率的表现。图1-1所示为钢琴弹奏某一音阶时的声谱。由图可见，这个声音的基频是440 Hz，除基频外，至少包含有其他15种不同频率的振动。

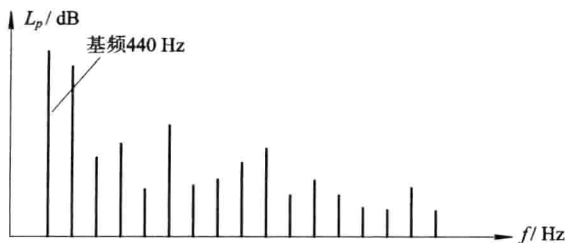


图1-1 钢琴的频谱

声谱中的基频成分形成了声音的基音，音调由基频的高低所决定；声谱中的其他成分是泛音，泛音和基音成倍数关系，音色是由泛音的结构所确定的。

3) 音量(Intensity)

音量是指声音的强度或响度，标志声音的强弱程度。它主要与声源振动幅度的大小有关，太弱了听不见，太强了会使人受不了。人耳所能听到的声强约为0~12 dB，寂静的室内噪声约为30 dB，在白天室内噪声可达45 dB。