

YINPIN GONGCHENG
JICHU

音频

工程基础

沈 嶸 范宝元 韩秀苓 李传光 吴金才 编著



北京工业大学出版社

音频工程基础

沈嶢 范宝元 韩秀苓
李传光 吴金才 编著

内 容 简 介

我们听到的录音几乎都是从多声道原始信号合成的。目前调音技术,特别是艺术性方面还没有什么标准,因此合成音响效果必然因人而异。聆听者只能在这样的基础上重发声音。另一方面,目前厅堂扩声、歌舞厅的设备几乎都是高档的,但音质却不能令人满意。因此,提高音响设备管理技术人员的业务水平将是创造完善音质的必要条件。本书提供了一些必需的音响技术,讨论了听觉心理和声音的主观感觉、传声器和扬声器系统、模拟音频设备、数字音频设备、电声测量技术、音频系统、房间音质问题、歌舞厅音频工程设计,并对音频新技术作了近期展望。这些技术内容可以用于理解、操作和评价音响设备。

本书集知识性和实用性于一体,内容丰富、材料齐全,适用于录音师、调音师、音响师用作培训教材或自学讲义。读者对象是具有中等专科以上的音响爱好者、录音师、调音师、音响师以及中等专科学校的师生们,也可供大专院校非电声专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

音频工程基础/沈壕等编著. —北京:北京工业大学出版社, 2002.2

ISBN 7-5639-1024-7

I. 音... II. 沈... III. 音频设备—基本知识
IV. TN912.271

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 098216 号

音频工程基础

沈 壕 范宝元 韩秀苓
李传光 吴金才 编 著

*

北京工业大学出版社出版发行
邮编: 100022 电话: (010) 67392308

各地新华书店经销
徐水宏远印刷厂印刷

*

2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷
787mm×1092mm 16 开 26.25 印张 648 千字
印数: 1~3000 册
ISBN7-5639-1024-7/T·183
定价: 36.00 元

序 言

电子技术、声学技术和数字技术的发展带动了专业音响的飞速发展。改革开放以来,随着经济的发展和人民生活水平的提高,我国歌舞厅的建设获得了快速发展。各种类型的歌舞厅、卡拉OK歌厅犹如雨后春笋,遍布全国城乡各地。但在建设过程中,出现了片面注重豪华的装饰和进口音响器材的选用,忽略了建筑声学 and 电声系统合理的设计和调试,常常在音频设备方面花了大量的经费却得不到好的效果。歌舞厅的现状是音量大,音质差,噪声扰民严重。另一方面,由于人们对音质要求的提高,这些歌舞厅都装备了高质量的进口音响设备,因此,提高工作在这一音响领域内的录音师、调音师和音响师等的专业音响人员的素质,充分发挥这些进口音响设备的功能是刻不容缓的。音响技术是一门边缘学科,它集中了现代最新科学技术的成就,既有理论又有实践,而且拥有数亿音响爱好者。事实上,经过美化、修饰加工的声音是通过录音师、调音师和音响师提供给听众的,因此,他们是一种特殊职业,除了要求具有建筑声学 and 工程人员的专业能力,还需有电声技术和音乐修养的艺术敏感性以及灵敏的耳朵和相应的心理声学知识。目前这方面的音响人才远远满足不了工作需要,许多进口的高档音响设备却没有合适的技术人员来操作。不少中小型音响工程甚至不经过专业设计,匆忙地选购设备而满足于人家有的我也要有,不考虑操作人员的技术提高,即使花费了很多外汇,也不能充分发挥这些设备的功能,得不到优良的音质。

鉴于上述现状,主持中国电子学会科普工作委员会的陈太一院士提出组织编写一本既能从基本知识到专业技术,并兼顾音响工程设计,又能反映当代音响技术水平,帮助录音师、调音师、音响师提高业务的培训讲义,用来指导理论学习和操作实践,并邀请我们参加。这项工作还得到了北京工业大学出版社的支持。由于我们多年从事电声技术的研究、教学、培训和工程实践,因此乐意承担编写任务。

《音频工程基础》是一本高级科普书,也是一本培训讲义,它完整地叙述了歌舞厅音响技术,讨论了房间音质设计,声音的主观感觉,音响工程设计,包括KTV包间和家庭影院的声系统。选择以歌舞厅为主是因为它们是当今流行音乐场所的代表,几乎荟萃了所有典型的音响设备,并且是最普及、最常见的音频系统,所包含的内容对其它音响工程有参考价值。本书的编写力求具有科普性、先进性和实用性,全书有一定的技术内容,涉及面不太深但内容全面,书中尽量少用公式推导,着重理解和应用。因此,本书的读者对象既包含专业音响人员,也包括音响爱好者,并且可供大专院校师生参考。

编者

北京, 2001.2

目 录

序言

第一章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 几个名词的说明	(1)
1.2.1 电声学	(1)
1.2.2 音频与音响	(2)
1.2.3 高保真放声	(2)
1.2.4 音频工程	(2)
1.2.5 数字音频	(2)
1.3 音频工程的进展	(3)
1.4 音频工程的主要内容	(5)
第二章 振动和声波的特性	(6)
2.1 振动与声波	(6)
2.1.1 振动	(6)
2.1.2 声波	(6)
2.2 质点的振动	(8)
2.2.1 自由振动	(8)
2.2.2 衰减振动	(9)
2.2.3 受迫振动	(9)
2.2.4 固有振型	(11)
2.2.5 换能器特性的控制方法	(11)
2.3 声波的特性	(12)
2.3.1 声压	(12)
2.3.2 质点振动位移	(12)
2.3.3 质点振动速度	(13)
2.3.4 声阻抗	(13)
2.3.5 声强	(13)
2.3.6 声能密度	(13)
2.3.7 声源的声功率	(14)
2.3.8 声谱	(14)
2.3.9 工程计算用声学常数	(15)
2.4 声波的传播	(15)
2.4.1 平面声波的传播	(15)
2.4.2 球面声波的传播	(16)

2.4.3 声波在室外的传播	(16)
2.4.4 声波在室内的传播	(16)
2.4.5 多普勒效应	(17)
2.5 声波的反射、折射、散射和衍射	(17)
2.5.1 声波的反射和折射	(17)
2.5.2 声波的散射和衍射	(19)
2.6 复杂声波的干涉和共振	(20)
2.7 声波方程	(21)
2.7.1 波动方程	(22)
2.7.2 平面声波	(23)
2.7.3 球面声波	(23)
2.7.4 柱面声波	(24)
2.8 声波在大气中的传播	(25)
2.8.1 声波的发散衰减	(25)
2.8.2 空气的物理特性	(26)
2.8.3 声屏障的衰减	(28)
2.8.4 地面吸收的影响	(29)
2.8.5 气象条件对声波传播的影响	(29)
2.9 动力类比方法	(30)
2.9.1 阻抗类比和导纳类比	(31)
2.9.2 两种类比的转换	(31)
2.9.3 力学元件	(32)
2.9.4 声学元件	(32)
2.9.5 一维系统的描述	(35)
2.9.6 类比方法举例	(36)
2.10 声学的单位和级	(38)
2.10.1 国际单位制	(38)
2.10.2 声学单位	(39)
2.10.3 单位转换	(40)
2.10.4 级和分贝	(41)
第三章 听觉心理	(44)
3.1 引言	(44)
3.2 音频信号	(44)
3.3 发音器官和听觉器官	(48)
3.4 听觉的基本特性	(50)
3.4.1 听觉的韦伯定律	(51)
3.4.2 听觉的欧姆定律	(52)
3.4.3 双耳听觉	(52)
3.4.4 听觉疲劳	(52)

3.4.5 听阈	(52)
3.4.6 痛阈	(52)
3.4.7 听觉住留	(53)
3.4.8 听力谐音	(53)
3.5 听觉心理实验的一些结果	(53)
3.5.1 响度与响度级	(53)
3.5.2 音调	(54)
3.5.3 掩蔽效应	(55)
3.5.4 方向听觉	(57)
3.5.5 耳廓效应	(59)
3.5.6 听觉的分辨灵敏度	(60)
3.5.7 谐波失真的主观感觉	(60)
3.6 房间内声音的主观感觉	(61)
3.6.1 回声感觉	(62)
3.6.2 混响感	(62)
3.6.3 空间感	(63)
3.6.4 初始声能的作用	(64)
3.7 噪声的主观感觉和评价	(64)
3.7.1 噪声的主观感觉	(64)
3.7.2 环境噪声评价	(65)
3.7.3 老年性耳聋	(66)
3.8 汉语易懂度和语音清晰度	(67)
3.9 音乐节目的音质评价和评价方法	(68)
第四章 电声换能器的原理与设计	(71)
4.1 电声换能器的基本工作原理	(71)
4.1.1 动圈换能器的基本工作原理	(71)
4.1.2 电容换能器的基本工作原理	(72)
4.2 传声器	(75)
4.2.1 传声器的分类	(75)
4.2.2 动圈传声器	(76)
4.2.3 电容传声器	(88)
4.3 扬声器	(100)
4.3.1 直接辐射式电动扬声器	(100)
4.3.2 球顶形扬声器	(114)
4.3.3 号筒式扬声器	(117)
4.4 扬声器系统	(123)
4.4.1 扬声器单元	(123)
4.4.2 分频网路和衰减器	(124)
4.4.3 箱体的结构与设计	(125)

4.5 耳机	(135)
4.5.1 密闭式电动耳机	(136)
4.5.2 开放式电动耳机	(138)
第五章 模拟音频设备	(140)
5.1 引言	(140)
5.2 音响设备	(140)
5.2.1 调幅/调频调谐器	(141)
5.2.2 电唱盘	(146)
5.2.3 磁带录音机	(148)
5.2.4 控制中心	(150)
5.3 专业音频设备	(151)
5.3.1 调音台	(152)
5.3.2 功率放大器	(154)
5.3.3 电子延时器	(156)
5.3.4 电子混响器	(157)
5.3.5 降噪系统	(158)
5.4 音质调节设备	(162)
5.4.1 压缩器和限幅器	(163)
5.4.2 扩展器	(164)
5.4.3 频率均衡器	(164)
5.4.4 移频器	(165)
第六章 数字音频设备	(167)
6.1 引言	(167)
6.1.1 脉码调制系统的工作原理	(168)
6.1.2 数字编码音频信号的特性	(170)
6.1.3 音频数字化的兼容性	(171)
6.1.4 数字音频设备组成	(171)
6.2 数字音频唱片 (DAD)	(172)
6.3 激光唱片 (CD) 和唱机	(173)
6.3.1 激光唱片系统	(173)
6.3.2 激光唱片 (CD)	(175)
6.3.3 光盘系列和各种书	(177)
6.3.4 激光唱机	(180)
6.4 小型激光唱片 (MD) 系统	(185)
6.5 数字音频录音机	(189)
6.5.1 PCM 录音机	(189)
6.5.2 数字音频磁带录音机 (DAT)	(191)
6.5.3 数字小型盒带机 (DCC)	(194)
6.6 音质加工设备	(197)

6.6.1	数字延时器	(197)
6.6.2	数字混响器	(198)
6.6.3	数字声场处理器	(199)
6.7	激光影碟 (LD) 和影碟机	(200)
6.7.1	激光影碟 (LD)	(201)
6.7.2	激光影碟的分类	(202)
6.7.3	激光影碟的特点和技术参数	(204)
6.7.4	激光影碟信号的形成	(204)
6.7.5	激光影碟信号记录原理	(205)
6.7.6	激光影碟机	(206)
6.8	音频信号的压缩编码原理	(209)
6.8.1	听觉的掩蔽效应	(209)
6.8.2	音频信号压缩编码	(210)
6.8.3	数据压缩的国际标准	(211)
6.9	小型激光视盘 (VCD) 和视盘机	(212)
6.9.1	VCD	(212)
6.9.2	VCD 的版本	(213)
6.9.3	VCD 播放系统的组成和工作原理	(214)
6.9.4	MPEG-1 编码	(214)
6.9.5	VCD 视盘机	(215)
6.10	数字视盘 (DVD) 和视盘机	(217)
6.10.1	高密度光盘 (HD-CD)	(218)
6.10.2	超密度光盘 (SD-DVD)	(219)
6.10.3	DVD 系统	(219)
6.10.4	DVD 规格	(220)
6.10.5	杜比 AC-3 音频解码技术	(221)
6.10.6	DVD 视盘机	(222)
第七章	电声测量	(224)
7.1	传声器的电声参数和测量方法	(224)
7.1.1	传声器的主要电声参数	(224)
7.1.2	传声器电声性能的测量方法	(228)
7.2	扬声器和扬声器系统电声参数及测量方法	(241)
7.2.1	扬声器和扬声器系统电声参数	(241)
7.2.2	扬声器和扬声器系统的测量方法	(244)
7.3	头戴耳机电声参数及测量方法	(260)
7.3.1	头戴耳机的电声参数	(260)
7.3.2	头戴耳机电声性能的测量方法	(261)
7.4	功率放大器主要参数和测量方法	(267)
7.4.1	功率放大器的主要参数	(267)

7.4.2 功率放大器的测量方法	(269)
7.5 调音台电声参数及测量方法	(274)
7.5.1 调音台主要参数	(274)
7.5.2 调音台测量方法	(275)
7.6 人工混响器的主要参数及其测量方法	(278)
7.6.1 人工混响器的主要参数	(278)
7.6.2 人工混响器主要参数的测量方法	(278)
7.7 延时器和移频器的主要参数和测量方法	(279)
7.7.1 延时器和(或)移频器的特殊参数	(279)
7.7.2 延时器和(或)移频器的特殊参数测量	(280)
第八章 音频系统	(282)
8.1 引言	(282)
8.2 高保真立体声系统	(282)
8.2.1 双通路立体声	(282)
8.2.2 双通路立体声的工作原理	(284)
8.2.3 双通路立体声的拾音制式	(286)
8.2.4 双通路立体声节目源	(287)
8.2.5 双通路立体声系统	(290)
8.3 多通路声和环绕声系统	(292)
8.3.1 多通路立体声	(292)
8.3.2 多通路立体声的音质	(295)
8.3.3 环绕立体声	(296)
8.3.4 杜比环绕声系统	(297)
8.4 室内扩声系统	(302)
8.4.1 扩声系统的组成	(303)
8.4.2 扩声设备的低频方框图	(304)
8.4.3 扩声的技术要求	(305)
8.4.4 扩声系统的声反馈	(305)
8.5 卡拉 OK 系统	(306)
8.5.1 卡拉 OK 系统基本组成	(307)
8.5.2 卡拉 OK 音像节目源	(308)
8.5.3 卡拉 OK 音频技术	(309)
第九章 房间声学 and 音质	(312)
9.1 引言	(312)
9.2 房间内的声波	(313)
9.2.1 大房间内的声场	(313)
9.2.2 小房间内的声场	(317)
9.2.3 耦合房间内的声场	(319)
9.2.4 室内几何声学	(321)

9.3 房间对声波的影响	(321)
9.3.1 房间的声学共振	(321)
9.3.2 简正波的数量和密度	(322)
9.3.3 房间的传输响应	(323)
9.3.4 与房间形状有关的声学现象	(324)
9.3.5 室内声压级和它的分布	(324)
9.3.6 反射声的时间分布, 混响	(325)
9.3.7 反射声的方向分布, 扩散	(326)
9.4 反射声的主观感觉	(327)
9.4.1 反射声引起的回声干扰	(327)
9.4.2 哈斯效应	(328)
9.4.3 反射声的染色效应	(328)
9.4.4 混响的主观效应和最佳混响时间	(329)
9.4.5 早期反射声的作用	(329)
9.5 房间音质设计	(330)
9.5.1 各类房间音质的要求	(331)
9.5.2 房间的体型设计	(334)
9.5.3 房间音质设计方法	(337)
9.5.4 吸声材料	(337)
9.5.5 隔声构件的声学特性	(339)
9.5.6 室内噪声及其防止	(340)
9.6 听音室的音质设计	(342)
9.6.1 小房间的音质	(343)
9.6.2 低频混响时间	(343)
9.6.3 听音室的设计	(344)
9.6.4 听音室的音质要求	(345)
9.6.5 听音室的混响时间	(345)
9.6.6 听音室音质装修	(346)
9.7 房间的音质控制	(346)
9.7.1 室内吸声处理	(346)
9.7.2 扩散处理	(347)
9.7.3 隔声和隔振措施	(347)
9.8 扩散与音质	(349)
9.8.1 实现声场扩散的方法	(349)
9.8.2 听音室内扩散的作用	(350)
9.8.3 RPG 扩散屏	(351)
9.8.4 听音室的扩散处理	(352)
第十章 歌舞厅音频工程设计	(354)
10.1 歌舞厅的声学技术要求	(354)

10.1.1 歌舞厅的特点	(354)
10.1.2 歌舞厅扩声系统的技术特性	(355)
10.2 歌舞厅音频—视频系统	(357)
10.2.1 扩声系统	(358)
10.2.2 舞台返听系统	(360)
10.2.3 卡拉 OK 系统	(360)
10.2.4 迪斯科舞厅音频系统	(361)
10.2.5 KTV 包间内 AV 系统	(361)
10.2.6 背景音乐系统	(362)
10.3 歌舞厅扩声设计	(362)
10.4 歌舞厅音频—视频设备	(363)
10.5 歌舞厅的音质处理	(365)
10.6 传输响应的均衡处理	(367)
10.7 歌舞厅音响工程设计	(369)
10.7.1 歌舞厅的典型平面布置	(369)
10.7.2 歌舞厅音频视频系统方框图	(372)
10.8 扩声系统的调整和测试	(374)
第十一章 音频技术的展望	(376)
11.1 音频工作站 (DAW)	(376)
11.2 全固态数字录音技术	(378)
11.3 谐波失真感觉阈	(379)
11.4 调制转移函数和语言传输指数	(384)
11.5 数字音频广播	(388)
11.6 多媒体音频技术	(389)
11.7 厅堂音质模拟的数字技术	(395)
11.8 音频测量的数字技术	(396)
11.9 噪声和振动的有源控制	(399)
11.10 弯曲振动型薄板扬声器	(401)
11.11 1 bit 数字音响系统	(403)
参考文献	(407)

第一章 绪 论

1.1 引 言

20 世纪 70 年代卡拉 OK 娱乐方式逐渐流行, 它使文化娱乐由被动欣赏转变为主动参与。借助于磁带、光盘等音乐载体, 以声音方式记录乐队演奏的伴奏乐曲, 以屏幕方式记录歌词并配以背景图像供人们伴唱使用, 70 年代后期, 随着彩色录像机的普及又制作了卡拉 OK 录像带, 它将歌曲的伴奏音乐与歌词内容相配的背景图像同步地记录在录像带上, 并且歌词以套色或退色的方式与伴奏节拍相一致, 给歌唱者以提示。80 年代初又将激光影碟 (LD) 用于卡拉 OK 伴奏, 它的功能与录像带相同, 但质量提高了许多, 达到专业级技术水平, 图像清晰, 信息存储量大, 使用寿命长, 操作容易。这样卡拉 OK 从单一的音频技术发展为和录像技术相结合的音频—视频系统, 即 AV 系统。90 年代初又采用了小型激光视盘 (VCD), 大大降低了盘片的价格, 使卡拉 OK 迅速普及到家庭。与此同时兴建了大量歌舞厅、卡拉 OK 歌舞厅、卡拉 OK 歌厅、迪斯科舞厅, 并提供了专业级的卡拉 OK 系统, 使用时由调音师和音响师管理。由于音响设备大都使用具有先进音响技术的高档设备, 因此, 怎样管理好这些设备是保证系统音质的关键。《音频工程基础》就是以卡拉 OK 歌舞厅为对象, 根据录音师、调音师和音响师的需要而编写的培训讲义, 以使他们在实践经验基础上进一步提高工作质量, 使卡拉 OK 歌舞厅能以更好的音质为客人服务。家庭内的音响系统本质上也是一个小型音响工程, 因此, 音响爱好者个人在使用音响设备过程中, 在广义上来说也是调音师和音响师, 为了充分发挥音响设备的潜在能力, 本书的内容也有助于音响爱好者们获得优美音质。因此讨论了音频系统或设备的一些原理和应用以及主观上对音质的理解, 并且包含录音师、调音师和音响师工作上需要的内容, 而不强调理解, 偏重于实际, 偏重于应用。作者们接触过电大舞台音响专业的教学大纲、一些扩声技术培训班和录音师培训班的教材以及录音师、调音师和音响的等级评审工作, 《音频工程基础》给出了基本的和先进的科学技术内容, 力图满足录音师、调音师、音响师的工作需要, 当然, 进一步提高还需要更多地参阅一些专业音响书籍和有关技术杂志。

1.2 几个名词的说明

1.2.1 电声学

电声学是研究电声换能的原理、技术和应用的科学, 是电子学和声学的边缘学科。经典的电声学主要研究换能器的原理和设计, 并扩展到包含用电子器件来产生各种频率、波形和强度的声音以及有关声音的接收、放大、传输、测量、分析和记录等电声技术。从频率范围来说主要是可听声频段, 它在政治、军事、经济、文化等领域内有广泛的应用, 从而形成了实用性很强的音频工程。目前新的换能原理和设计方法不断发展, 其方向是提高效率、提高

功率和灵敏度、提高抗干扰能力、改进频率响应等。此外，正在研制着全新的数字式电声器件，例如数字式耳机、数字式扬声器等。电声系统和电声设备的发展趋势是高保真、立体声、数字化和自动化等。激光唱片系列、数字录音机系列和数字广播接收机已经实现产品化。

1.2.2 音频与音响

音频（也称声频）是与可听声有关的术语。它用来描述用于可听声频率范围内的电子设备，例如音频放大器。因此，音频一词已用作一般性描述音频范围内和声音有关的设备及其作用。音响指人耳可以听到音频频率范围内的声音的设备或系统。音响与声音的差别是前者带有浓厚的音乐味。近年来随着家用声音系统的普及，人们把专业用的录音和放音设备、收音机、电唱机、家用录音机等统称为音响设备，把喜欢通过这类设备欣赏音乐或喜欢动手制作这些设备的人称为音响爱好者。早期的音响设备泛指所有录、放音设备，包含语言用的盒式录音机和小型便携式收音机（随身听），近年来倾向于专指欣赏音乐用的专业或家用电声设备，并且在家用电声设备中只把音质优良的录放音乐用的盒式录音机及调谐器称作音响设备，或指由电唱盘、扩大机、均衡器、混响器等组成的立体声音乐中心。因此，习惯上音响是指音乐欣赏用的高质量电声设备或它重发的声音。音响设备或成套音响系统可简称为音响，是重放音乐供欣赏用的高保真电声设备。

1.2.3 高保真放声

高保真度描述放声系统如实重放声音的声学技术的术语，它反映了系统能精确地保持其输入的各项重要特性和程度。高保真度（Hi-Fi）要求准确而如实地记录或重发节目的原有特性并在主观上不引起失真的感觉。

高保真放声是指建立在客观技术指标基础上并得到大多数聆听者确认音质的高质量声音记录重发系统，它也包含对放声进行必要的修饰和加工，按照主观爱好来美化声音的技术。对高保真度的评价包含客观和主观两方面，即包含测试评价和听音评价。前者测量放声系统的电声参数，使它满足规定的高保真度的技术指标，后者由听众对放声质量进行综合性的主观评价。高保真系统是一种被人们认为是“没有畸变”的放声，这种放声系统力图重发信号原有的各种特性。这里所谓“没有畸变”是指主观感觉，即允许客观声场有少量失真，但听觉却分辨不出来。

1.2.4 音频工程

音频工程（或声频工程）和音响工程泛指电声应用技术，主要研究高保真放声系统，也涉及广播系统、录音系统和扩声系统等，以及高保真电声器件和设备的研究、设计和制造。由于音频工程最终要考虑与人主观感觉密切相关的心理和生理声学、语言声学和音乐声学，因此，还涉及音质评价以及改善录放技术和音质加工技术。音频工程的发展趋势是高保真、立体声、高效率、高抗噪声能力、数字化和自动化等。

1.2.5 数字音频

数字音频指音频信号的数字化。由于数字技术和超大规模集成电路的发展，已经研制成

许多高质量数字音频设备，例如脉码调制录音机、数字延时器、数字混响器、激光唱片、数字盒带录音机、数字压扩器等，在产生、变换、记录和传输音频信号过程中采用数字编码信号，使得高保真立体声的质量进一步提高，即动态范围、信噪比和通路分离度能达到或超过 90 分贝并且系统的非线性失真几乎可以忽略不计。数字音频工作站的使用和数字广播的实现进一步提高了广播的质量。

1.3 音频工程的进展

随着广播、电影、扩声、录音和声场控制的发展，20 世纪 70 年代形成了具有相对独立性的音频工程。许多新结构、新原理、新工艺和新材料使音频设备面貌一新，许多新型音质调节和加工的专用设备的出现，使其内容已远远超出经典电声学的范围。目前在音频设备中广泛采用数字技术，促进了设备的小型化、数字化和自动化。数字技术和超大规模集成电路技术的发展，开创了数字音频时代，其脉码调制录音机、激光唱片、数字盒带录音机等已使声音的记录和重发达到了完美的程度。与视频技术结合的卡拉 OK 娱乐方式和家庭影院，使音频与视频相结合形成 AV 系统。数字音频与多媒体的发展，使音频工程与个人计算机和通信技术联系起来，个人计算机已经能够发出声音，进行作曲，并编辑节目。

录音和放音是一门迅速发展、令人感兴趣的高新技术，具有实用化和广泛的应用范围，它极大地影响着人类社会的政治、文化和娱乐生活。长期以来，音频工程沿着两个方向发展，一方面是专业性的，例如电影院内的放声，剧场和厅堂的扩声，广播、电视和电影等的录音和放音等。其中剧场、电影院这类放声的服务对象是许多听众要求把声音无畸变地均匀辐射到大面积的听众区，使所有听众都能够清楚地听懂讲话和满意地欣赏音乐和戏剧。另一方面则是家庭内使用的放声系统，虽然每套系统的听众很少，甚至仅 1 个~2 个，但是听众队伍却非常大，几乎涉及到每家每户，为唱片工业、广播、录音工业和家用音频设备（或称音响设备）的发展提供了巨大的市场。

随着科学技术的进展和人们经济水平的提高，对放声形式多样化和音质的要求也越来越高，因此，在高保真系统的基础上开发了高保真立体声、厅堂扩声、数字音频、环绕声系统、AV 系统和多媒体声频等，并在家庭内获得应用，同时专业音频迅速建立了庞大的科研和产业队伍，促进音频工程迅速发展。大约 20 世纪 30 年代以前，调幅广播和粗纹唱片开创了家庭放声的先驱，但其音质很差。40 年代末的调频广播实现了高保真放声。所谓高保真，是要求准确如实地记录和重发音乐节目原有特性并且使人们听起来感觉到不失真。50 年代密纹唱片的流行，使高保真系统和双通路立体声系统获得发展。高保真技术首先应用于密纹唱片和磁带录音，后来又发展了立体声调频广播。60 年代末提出的杜比降噪系统使录音机的质量获得了极大的提高并促使盒式录音机普及。双卡盒式录音机不但可以放音，而且可以录音或转录，使录音机和唱机一样，甚至更加普及到家庭内的文化娱乐中，在普及音频工程方面，盒式磁带录音机发挥了更重要的影响。在专业音频方面，指向性传声器的改进不但提高了灵敏度，而且有利于抑制噪声和声反馈，无线传声器的应用使演员在舞台上能够自由走动。在录音中采用压力区传声器和相位相干型心形传声器，对接收信号可消除反射声引起的梳状滤波器效应。对于高保真扬声器系统，随着喇叭理论的进展，设计了恒指向性喇叭式扬声器，对于音箱设计采用滤波器理论，使箱体设计定量化，利用计算机辅助设计获得音质更

好的各种音箱，同时开展数字扬声器和数字耳机的研究。在厅堂音质方面实现了声场的电声控制，三维声场中随机信号的控制相当复杂，采用数字信号处理器极大地提高了控制系统的性能。已经实现的有室内声场的计算机模拟、厅堂音质的有源控制、声场频谱的自动控制、噪声的有源控制等。

20 世纪 80 年代音频设备的数字化极大地提高了录音和放音的质量，其中最重要的方面是使家用音频设备的性能接近于模拟式专业音频设备，从而促进了家用音频设备的高保真化和普及，展宽了放声的频率范围，降低了信号的谐波失真，并扩大了动态范围。目前，许多音频设备，不管是专业的还是家用的，大都采用数字技术，它将传声器接收的模拟音频信号经模数转换成数字编码音频信号，采用数字技术进行滤波、传输和记录等处理后，再采用数模转换器重新恢复为模拟音频信号，以供扬声器重发声音。在这些转换和传输过程中产生的失真要比对原来信号直接处理带来的失真要小得多，而且可以用处理波形信息的方法来替代处理波形本身或它的某些特性。由于数字音频的采用，目前高保真的概念意味着频率范围更宽、动态范围更大、失真更小，而且可以实现用微处理器进行数字信息处理和对放声系统实现自动控制和智能控制。

当前许多新型家用音响产品和 AV 产品日新月异，例如激光唱片（CD）、小型数字唱片（MD）、数字音频磁带录音机（DAT）、微型数字盒带机（DCC）和可录式激光唱片（CD-R）等。其中 CD 唱片和唱机是现代音频技术的最新发展，它的普及已使家庭放声质量接近于专业密纹唱片并已形成工业生产。激光唱片采用了数字音频技术、激光技术、大规模集成电路技术、高密度记录技术、精密机械伺服技术等跨学科的先进产品，它的记录信息达 680MB，并利用压缩编码技术向记录图像和存储计算机信息方面发展。80 年代卡拉 OK 娱乐方式使音频系统结合视频技术形成 AV 系统，发展了卡拉 OK 歌舞厅、卡拉 OK 舞厅、MTV 和 KTV 等多种形式。数字广播也处在开播的前夕，它可以在移动环境下提供具有 CD 音质的广播。杜比立体声编码的提出使电影院内放声质量有明显提高，90 年代开发的杜比定向逻辑编码和杜比 AC-3 编码技术，实现了环绕声系统，并与大屏幕电视机结合发展为家庭影院系统，这是一种新型 AV 系统，使家庭内放声获得类似于电影院的放声音质，例如 3/1 方式的杜比环绕系统、3/2 方式的数字环绕声系统和 5.1 方式的高清晰度数字伴音系统等。其节目源可采用激光影碟（LD）、小型激光视盘（VCD）或数字激光视盘（DVD）。由于 DVD 更多地应用于计算机的存储系统，因此采用统一名称通用数字光盘（DVD）。

多媒体的发展，开发了直接用于计算机记录和重放声音的技术，因此数字化声音很快集成到个人计算机（PC），使数字音频技术不但可以应用于多媒体系统，而且一些技术还可为多媒体系统借鉴，例如 CD 与 MD 可用作计算机的外存储器，发展了可录式激光唱片（CD-R）和可录式通用数字视盘（DVD-R），因此多媒体技术不断地把比较成熟的音频和视频处理技术、动画技术、通信技术集成到计算机。这种具有文字、语言、图像、三维动画等多种可视可听媒体的人机界面更符合人们日常交流习惯，乐于为人们所接受。

数字音频录音和放音技术的进一步发展，将会出现一种全固态的录放技术，它利用高存储容量的超大规模集成电路，采用数据压缩编码技术记录和重放数字音频信号，其原理类似于计算机的随机存储器的存取，不需要任何机械转动部件，不但结构简化，超小型，而且极大地降低了电能消耗。利用数字音频压缩技术，通过微处理器模拟人耳听觉特性并考虑掩蔽效应，能够在较低存储量的存储器内存储更多信息并获得高质量的重放效果。已经开发成功

的全固态录音机的实验样机，可以取代磁带和唱片存储声音节目，并且播放时不受振动和冲击的影响，大约 32MB 字节的存储卡可以录下 24 分钟具有 CD 唱片音质的录音，它将具有比唱片和磁带录音更强的竞争力。

1.4 音频工程的主要内容

由于通信、广播、电影、扩声、磁带录音和唱片等的发展，使放声技术紧密地联系人们的现代化生活。音频工程涉及的技术内容非常广泛，例如声学问题包含声波的传播、声信号的特性和主观感觉、电声换能器件、房间音质、振动、电子技术、计算机数字技术、声学艺术等的应用科学。放声的最终目的是供人们欣赏音乐等艺术作品，因此，要考虑与人们的心理和生理的主观因素密切相关的音质问题。20 世纪 70 年代以来，音频工程有了很大的进展，而高保真立体声技术表述了 80 年代厅堂扩声和家庭放声的成就。80 年代发展起来的数字音频技术、环绕立体声技术和 AV 系统技术则代表着家庭放声的最新成就。长期以来，电声技术沿着两个方向发展，一方面是专业的，例如剧场和厅堂的扩声，另一方面是家庭内使用的放声系统。卡拉 OK 娱乐方式的兴起，使专业音响与家庭音响结合起来，而数字音频则使家庭放声质量接近于专业音响的技术水平。因此，我们以歌舞厅音响工程为主要对象来讨论《音频工程基础》，就可以既包含专业音响技术，又涉及家庭放声内容。它们可以应用于营业性的卡拉 OK 歌舞厅、卡拉 OK 歌厅，也可以用于类似于家庭放声技术的卡拉 OK、MTV 形式的娱乐。这样不但使本书具有广泛的科学技术内容，而且可以把这些原理应用于理解、操作和评价音响设备。

《音频工程基础》的主要内容就是围绕着这样一个主题，基本知识方面介绍了声波的传播，与人们听觉有关方面叙述了音频信号的声学特性，人们对声音的心理感觉以及房间对声音音质的影响。电声器件讨论了高保真传声器、高保真扬声器和扬声器系统（音箱）以及高保真耳机。电声设备则介绍了模拟式磁带录音机、电唱盘、调谐器。数字音响设备则包含激光唱片、数字录音机、数字盒带录音机、延时器、混响器、声场处理器、VCD、DVD 等。电声系统讨论了高保真立体声系统、扩声系统、歌舞厅扩声系统和环绕声系统。电声测量包含电声器件和电声设备的测量等。关于音质评价和加工方面则讨论了声音的主观感觉、房间音质、音质评价、降噪设备、音质处理设备。结合歌舞厅音响工程设计讨论了建声设计和音质处理，并介绍了不同要求、不同规模的音响工程中 AV 系统。最后讨论了音频工程的进展，特别指出全固态录音技术将会引起录放设备又一次革命性变革，极大地改进了放音质量。在扬声器方面介绍了弯曲振动型薄板扬声器，它以新的工作原理和优异的声辐射特性获得迅速发展。在主观感觉方面介绍了谐波失真感觉阀的存在有助于分析谐波失真对音质的影响，在音质评介方面提出了客观测量音响系统语言清晰度的方法，在录音放音系统方面介绍了性能更好的采用过采样和噪声整形技术的 1bit 数字音响系统，最后指出音频工程与计算机技术的结合将会促进多媒体技术、厅堂音质模拟的数字技术的发展等。