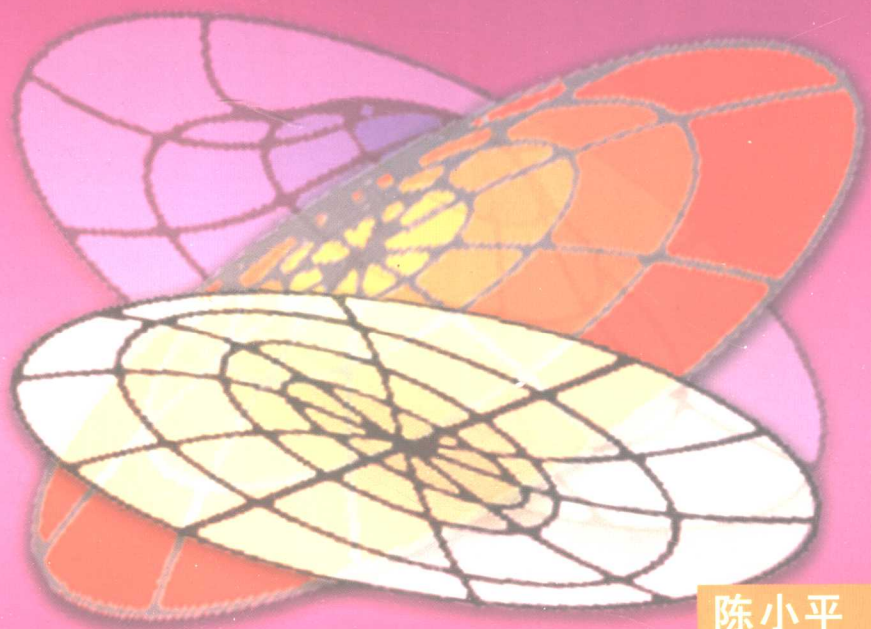


录音技术丛书

LOUDSPEAKER AND MICROPHONE: PRINCIPLES AND APPLICATIONS



陈小平 编著

扬声器和传声器 原理与应用

中国广播电视出版社

现代录音技术丛书

扬声器和传声器 原理与应用

Loudspeaker and Microphone:
Principles and Applications

陈小平 编著

中国广播电视出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

扬声器和传声器原理与应用/陈小平编著. —北京:
中国广播电视出版社, 2005.5

(现代录音技术丛书)

ISBN 7 - 5043 - 4578 - 4

I. 扬… II. 陈… III. ①扬声器—基本知识②传
声器—基本知识 IV. ①TN643②TS954.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 014828 号

扬声器和传声器原理与应用

编 著	陈小平
责任编辑	贺 明
封面设计	郭运娟
责任校对	谭 霞
监 印	陈晓华
出版发行	中国广播电视出版社
电 话	86093580 86093583
社 址	北京市西城区真武庙二条9号(邮政编码 100045)
经 销	全国各地新华书店
印 刷	北京海淀安华印刷厂
装 订	涿州市西何各庄新华装订厂
开 本	787毫米×1092毫米 1/16
字 数	210(千)字
印 张	15.125
版 次	2005年5月第1版 2005年5月第1次印刷
印 数	4000册
书 号	ISBN 7 - 5043 - 4578 - 4/TN·332
定 价	29.80元

(版权所有 翻印必究·印装有误 负责调换)

现代录音技术丛书

- ◆ 立体声拾音技术 李 伟 编著
- ◆ 音乐录音 李大康 编著
- ◆ 声频测量技术 朱 伟 编著
- ◆ 声音与人耳听觉 陈小平 编著
- ◆ 扬声器和传声器原理与应用 陈小平 编著
- ◆ 流媒体技术及应用 胡 泽 赵新梅 编著
- ◆ 计算机数字音频工作站 胡 泽 雷 伟 编著
- ◆ 录音工程师手册 周小东 编著
- ◆ 录音专业英语 刘晓飞 编著

责任编辑：贺 明

封面设计：郭运娟

没
于
器
用
就

IS



9 7



作者简介

陈小平，1963年出生，1983年毕业于北京邮电学院电信工程系，并获得工学学士学位，1988年获得北京广播学院通信与电子系统专业广播声学方向工学硕士学位。1999年7月至2000年7月，在丹麦Aalborg大学声学系任访问学者。现在北京广播学院录音艺术学院任教，承担课程有：《声学基础》、《电声学与室内声学》、《声场模拟》等，研究领域为通信声学（Communication Acoustics），主要研究方向为心理声学与声场模拟（Psychoacoustics and Binaural Technology）。

内 容 简 介

本书首先介绍电声换能原理以及换能器的等效类比电路，为换能器特性的理论分析奠定基础；然后讨论扬声器和传声器的电声性能参数及其物理意义；最后着重讨论各种类型扬声器和传声器的基本结构、工作原理、性能特点及其应用。本书较注重基本概念、基本理论与基本分析方法的阐明，并与实际应用相结合，较适合作为音频工程专业本科生学习的教材，也适合相关专业的工程技术人员和音响爱好者阅读。

总 序

1877年，爱迪生发明“留声机”，揭开了人类文明发展最为激动人心的一百年的大幕。在这一百年中，产生了人类有史以来最有影响力的传播媒介和艺术形式，而它们无不与录音技术有着深刻的联系。

电影是第一个成熟的视听艺术样式，在它的数次具有里程碑意义的变革当中（电影的发明、有声电影的诞生、彩色电影的出现和宽影幕的采用），有声电影的诞生无疑是最具革命性的。

1926年，美国电影业设计出一种与无声影片同步的电唱机，生产出用电唱机放声的有声电影。1927年，美国福克斯有声电影新闻公司发明将声音调制在电影胶卷上的方法。同年，华纳公司拍摄了音乐故事片《爵士歌王》(Jazz Singer)，这部影片不仅有音乐，还有一部分对白，因此被认为是声音正式进入电影的标志，它的出现，使伟大的“第七艺术”的奇迹得以真正完成。1928年，华纳兄弟公司进一步完善了有声电影技术，拍出了具有全部对白的真正有声电影《纽约之光》，自此，电影正式跨入了一个新的时期。

广播作为影响最大的大众传播媒介之一更是音频技术的直接产物。

1902年，美国人巴纳特·史特波斐德在肯塔基州穆雷市进行了第一次无线电广播。1920年，美国在底特律、旧金山和匹兹堡开始了商业无线电广播。1933年，阿姆斯特朗发明宽带调频原理，首次进行调频广播。20世纪50年代末，美国工程师赖纳德·康最先研制出立体声广播系统。1960年，蒙特利尔广播站首次应用赖纳德·康的系统进行立体

声广播。

广播的发明使人们第一次可以远距离传送自己的声音，第一次可以在广大的空间里对无数的听众进行信息传递活动。声音使人类首次体会到了“同时”和“零距离”的威力。

而稍后出现的电视的影响力更是超越了此前的任何一种传播媒介。

1929年，英国人贝尔德（1888—1946）发明了电视。1955年，美国无线电公司宣布成功实验磁带彩色录像机。1956年，美国菲舍无线电公司研制出具有晶体管放大器的磁带录音机。1958年，美国安皮克斯公司生产出商用彩色录像机。

作为视听媒介，声音也同样是电视的半壁江山。

录音技术也对原有的艺术样式产生了深刻的影响。音乐、戏曲、戏剧、文学等等传统艺术插上了“电子”的翅膀，为更多的人所接受。

以音乐艺术为例。录音技术的发明使人类的音乐文化传播发生了质的变化，使人们能够永久存储、广泛传播艺术家们的精湛表演，同时还催生了前所未有的音乐艺术样式。

纵观20世纪的艺术发展史我们可以发现，声音技术不仅是电子媒介的基础和电子艺术的摇篮，而且它的每一次技术飞跃都为艺术提供了更广阔的表现空间；而艺术创作也不断为技术发展提出新的要求与课题。

1931年，英国工程师布龙莱茵研制出横槽和直槽的双音迹立体声唱片。美国贝尔电话实验室首次通过电话线传送立体声交响乐。1954年，美国生产双迹磁带立体声录音机。三年后英国和美国生产出第一批商用立体声唱片。到20世纪50年代中期，立体声技术得以广泛运用，并在此后的近半个世纪中使视听艺术的创作得到空前的发展。立体声技术极大地改善了音频制作的质量，它使我们能聆听到位于正前方的两个音箱轴线之间的一个宽阔的立体声声场，领略声音的细腻的音质和层次感。

与此同时，人类开始了环绕声技术的探索。

1965年，美国科学家Ray M. Dolby在伦敦创办了杜比实验室，从事音响器材、降噪系统和环绕声技术的研究，陆续开发出了多种实用的环绕声编解码技术。

DTS公司和THX公司也分别开发了自己的环绕声技术，并在艺术创作和商业领域都取得了成功。

20世纪90年代后，日本SONY电影设备公司研制开发出SDDS制式，它是具有7.1声道的8路数字环绕声系统，其市场前景也颇具潜力。

音频技术领域发生的最为深刻的变革无疑是数字化和计算机技术的运用。

20世纪后半期开始飞速发展的计算机技术，使人类历史进入到了一个数字时代。如今，数字技术已经渗透到人类生活的各个层面，并深切改变着我们的生活状态和生存方式。

数字技术介入电影制作领域之后，带给电影的不仅是高清晰度的画面和奇幻的视觉享受，在进入电影音频制作领域后在听觉上也带给了人们高保真度的全新震撼体验。人们纷纷走进电影院，享受数字视觉奇观以及身临其境的环绕立体声享受。

即将来临的高清电视时代，也将是环绕声的时代。

正是在这样的背景下，人们对音频技术掌握的渴求突显了出来。“现代录音技术丛书”可以说是应运而生，作者大都多年从事录音节目制作和理论研究，每一部著作都凝结着他们的心血，既有多年来节目制作的宝贵经验的总结，也有填补国内理论空白的篇章。

这是一个“专家”的时代，又是一个“综合”的时代。社会分工越来越细，每个人都必须成为某一领域的“专家”，精通自己领域的“技能”。同时我们又必须越来越多地和不同领域的“专家”合作，在一个复杂的体系中完成协作。

广播电视就是这样一个庞大、严密的体系，这里需要各种各样的专门人员，他们又必须进行精巧的合作，以完成讯息传递、艺术创作的任务。本丛书是为广播电影电视领域从事声音制作的专门人员而编撰的，同时也希望成为其他从事广播电影电视工作、音像制作、远程教育等等专业人员的参考书目。

前 言

电声学是研究电声换能原理、技术和应用以及声信号的存储、加工和测量的科学。总的来看，电声学是基础物理声学的的一个分支，但它又与电学有着紧密联系。对古老的声学来说，电声学是一门新兴学科，但它发展至今也有一百多年历史。它首先是在可闻声领域发展起来的，因为人们最早提出的需要就是对可听声进行记录、加工和传播。为此，人们首先发明了电声换能器，使声音的传播和记录成为可能。之后，电声技术才不断发展应用到现代工业、现代农业、现代医学和现代国防等其他领域，工作频率也超出了可闻声频率范围。

电声学在通信和广播系统、厅堂和剧院的扩声系统、播音室和录音棚的录放系统以及家用高保真放声系统等方面的应用，称为声频工程。声频工程也是心理声学、生理声学、语言声学、音乐声学和室内声学的应用。

电声换能器虽然只是声频系统中的一小部分，但是，它是声频系统中将声与电联系在一起的纽带，它处在声频系统的首端和末端，起到将声能变换为电能和将电能还原成声能的重要作用，是声频系统中十分关键而又薄弱的环节。之所以说是薄弱环节，是因为传声器和扬声器是力声振动系统和电学系统的混合体，它可以看成是机电四端网络，因此其性能受振动系统和电路设计方面的许多因素影响，很难达到最佳设计。因此，对录音工程师和音响工程师来说，了解传声器和扬声器的工作原理，掌握其基本使用和维护方法，才能使传声器和扬声器的性能充分地表现出来，这对提高声音节目质量是十分重要的。

目 录

总 序	(1)
前 言	(4)
第一章 电声换能器基本理论	(1)
1.1 换能原理	(1)
1.2 换能器等效四端网络	(4)
1.2.1 电—力—声类比电路	(4)
1.2.2 换能器的基本方程和基本参数	(10)
1.2.3 电动式换能器基本方程和等效四端网络	(12)
1.2.4 电容式换能器基本方程和等效四端网络	(14)
1.3 换能器频率特性控制	(19)
第二章 直接辐射式扬声器	(21)
2.1 扬声器电声参数	(21)
2.2 锥形扬声器结构与工作原理	(29)
2.3 锥形扬声器等效类比电路	(31)
2.4 锥形扬声器性能分析	(33)
2.4.1 锥形扬声器频率特性	(33)
2.4.2 锥形扬声器阻抗特性	(37)
2.4.3 锥形扬声器效率	(39)

2.4.4 锥形扬声器指向性	(39)
2.4.5 锥形扬声器非线性失真	(39)
2.5 改善锥形扬声器性能的若干方法	(40)
2.6 扬声器振膜和音圈	(42)
2.7 球顶形扬声器	(44)
第三章 号筒式扬声器	(46)
3.1 号筒的传声特性和作用	(47)
3.2 号筒扬声器基本结构	(49)
3.3 号筒扬声器性能特点	(51)
3.3.1 号筒扬声器频率特性	(51)
3.3.2 号筒扬声器效率	(53)
3.3.3 号筒扬声器非线性失真	(54)
3.4 号筒扬声器指向性控制	(56)
第四章 平面振膜扬声器	(60)
4.1 带式扬声器	(60)
4.2 等电动平膜扬声器	(61)
4.3 静电扬声器	(62)
4.4 平板扬声器	(64)
4.5 弯曲振动型薄板扬声器	(67)
第五章 其他各种扬声器	(69)
5.1 压电式扬声器	(69)
5.2 数字式扬声器	(72)
5.3 同轴复合扬声器	(74)
5.4 监听扬声器	(75)
5.5 耳机	(77)
第六章 箱式扬声器系统	(81)

6.1	扬声器箱	(82)
6.1.1	障板	(82)
6.1.2	开口式扬声器箱	(84)
6.1.3	封闭式扬声器箱	(85)
6.1.4	倒相式扬声器箱	(87)
6.1.5	带通式音箱	(89)
6.1.6	偶极式音箱	(91)
6.2	分频器和衰减器	(92)
6.3	功率放大器	(94)
6.4	频率均衡器	(97)
6.5	扬声器系统控制器	(98)
6.6	声柱	(100)
第七章	线阵列扬声器系统	(102)
7.1	线声源阵列理论	(103)
7.1.1	声柱的辐射	(103)
7.1.2	有限长线声源的辐射	(107)
7.1.3	弧线形声源的辐射	(112)
7.2	线声源阵列原理的实际应用	(114)
7.2.1	线阵列单元的排列	(115)
7.2.2	线阵列波阵面的校正	(116)
7.3	线阵列指向性的改善	(116)
7.4	线阵列系统的优点及注意事项	(123)
第八章	传声器声接收原理和性能参数	(125)
8.1	传声器声接收原理和指向性	(125)
8.1.1	压强式声接收及其指向性	(126)
8.1.2	压差式声接收及其指向性	(128)
8.1.3	复合式声接收及其指向性	(131)
8.1.4	一阶指向性家族及其声学特性	(133)
8.2	传声器性能参数	(136)

第九章 动圈传声器和电容传声器	(142)
9.1 动圈传声器	(142)
9.1.1 压强式动圈传声器	(143)
9.1.2 复合式动圈传声器	(149)
9.1.3 动圈传声器非线性失真和瞬态特性	(153)
9.2 电容传声器	(154)
9.2.1 压强式电容传声器	(154)
9.2.2 压差式电容传声器	(160)
9.2.3 复合式电容传声器	(163)
9.2.4 可变指向性电容传声器	(164)
9.2.5 驻极体传声器	(169)
9.2.6 电容传声器非线性失真和瞬态特性	(170)
第十章 其他各种传声器	(171)
10.1 带式传声器	(171)
10.2 强指向性传声器	(174)
10.2.1 线列式传声器	(174)
10.2.2 声聚焦式传声器	(176)
10.2.3 高阶传声器	(178)
10.3 无线传声器	(181)
10.4 界面传声器	(183)
第十一章 立体声和环绕声传声器 (阵)	(185)
11.1 立体声传声器	(185)
11.1.1 声级差式立体声传声器	(186)
11.1.2 时间差式立体声传声器	(192)
11.1.3 仿真头	(194)
11.1.4 准声级差式立体声传声器	(196)
11.1.5 球面传声器	(197)
11.2 环绕声传声器 (阵)	(199)

11.2.1	TSRS 式传声器阵	(200)
11.2.2	Fukada Tree 传声器阵	(202)
11.2.3	Hamasaki 传声器阵	(203)
11.2.4	OCT 传声器阵	(204)
11.2.5	IRT Cross 传声器阵	(205)
11.2.6	双 MS 传声器阵	(206)
11.2.7	Schoeps KFM360 球面传声器	(207)
11.2.8	Soundfield 传声器	(209)
第十二章 传声器使用与维护		(212)
12.1	幻象供电	(212)
12.2	传声器输出和调音台输入	(215)
12.3	传声器电缆	(218)
12.4	传声器附件	(219)
12.5	传声器维护	(222)
参考文献		(225)
后 记		(227)

第一章 电声换能器基本理论

电声换能器是指通过某种物理效应，实现电能与声能之间互相转换的器件或装置。电声换能器简称为换能器。扬声器和传声器是换能器应用的一种形式，统称为电声器件。电声器件是电学、力学和声学的混合系统，因此，要深入了解电声器件的工作原理和性能特点，不仅要了解电学系统的分析方法，而且要了解力学和声学振动系统的分析方法，同时还应具备声学的基本理论知识。

1.1 换能原理

换能器所依据的换能原理各不相同，换能原理可分为电动式、电磁式、电容式、压电式、碳粒式和电子式等，其中在音频工程中较常用的是电动式和电容式。

1. 电动式

电动式换能器是利用安培定律和电磁感应定律来实现电能与声能互换的。所谓安培定律是指通电导体在磁场中会受到力的作用；电磁感应定律是指导体在磁场中切割磁力线运动会产生感生电动势。

图 1-1 所示为较典型的电动式换能器工作原理示意图，其中导体呈线圈状，置于环形磁缝隙中，通常导体与振膜相连或本身制成薄膜状，当导体通过声频电流时，根据安培定律，导体将受到力的作用，力

的方向如图 1-1 所示, 并产生与声频电流相应的振动, 带动振膜振动而辐射声波, 从而实现从电能到机械能再到声能的转换; 反过来, 当振膜受到声波作用带动导体发生振动时, 由于导体在磁场中切割磁力线运动, 产生了相应的感生电动势, 从而实现从声能到电能的转换。可见, 电动式换能器是通过磁场力的作用来实现电能与声能互换的, 而且系统是无源可逆的。

电动式换能器常用于传声器、扬声器和耳机中。

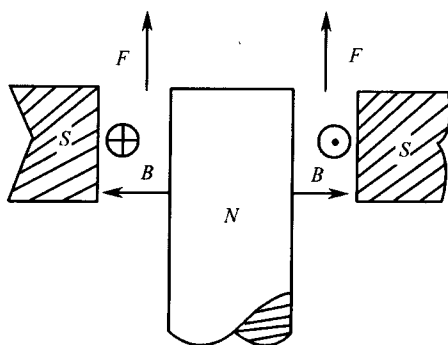


图 1-1 电动式换能器工作原理示意图

2. 电容式

电容式换能器是利用电容器极板之间的静电力来实现电能与声能互换的, 也称为静电式, 其工作原理简图如图 1-2 所示, 其中固定极板和振膜构成了一个可变电容器, 固定极板常称为背极板, 振膜称为可动极板, 可变电容器是电容式换能器的主要部件。当可变电容器两端加有变化的声频电压时, 由于极板间电压发生变化, 产生相应变化的电场和电场力, 振膜受电场力作用后做相应的振动, 从而将电能转化为声能; 反之, 当振膜受声波作用发生振动时, 极板间距离发生了变化, 电容器的电容就发生相应变化, 使回路中产生相应的变化电流, 在电阻两端获得相应的音频电压, 从而实现由声能到电能的转换。但是, 实现这种声电之间的线性变换必须有一个前提条件, 即极板间存在一个直流极化电压 U_j , 在后面的章节中我们将解释这个问题。可见, 电容式换能器是依靠电场力的作用来实现力电变换的, 它是一个有源可逆的系统。