



传声器

电路原理与实践

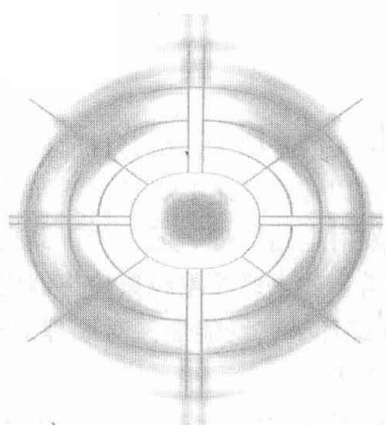
CHUANSHENGQI DIANLU YUANLI YU SHIJIAN

主 编 姜世芬

副主编 蔡雄志 陈健祥 施宝新



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS



传声器

电路原理与实践

CHUANSHENGQI DIANLU YUANLI YU SHIJIAN

主 编 姜世芬

副主编 蔡雄志 陈健祥 施宝新

常州大学图书馆
藏书章



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

内 容 简 介

本书是作者在总结多年从事传声器电路设计与制造技术课程教学讲义的基础上,结合目前最新的职业教育改革要求,与传声器(麦克风)企业的专家合作而编写的。本书以传声器主要产品电路及其发展方向为依据选取内容,包括传声器基础知识、有线传声器、无线传声发射电路原理、无线传声器接收电路原理、UHF 频段高性能无线传声器电路分析、数字无线传声器技术等。本书既注重经典传声器电路原理的阐述,又强调真实产品的设计与制作。课程中包括大量的技能训练环节,既能加深对原理的理解,又能提高实际操作技能。书中配有大量的实用电路,方便学生课后制作实践。

本书可作为高职高专电子技术、电声技术、广播电视及电子通信等专业学生的专业必修课或选修课教材,也可作为相关企业员工的培训教材,还可作为相关电子产品设计人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

传声器电路原理与实践/姜世芬主编. —广州:华南理工大学出版社, 2012. 4
ISBN 978 - 7 - 5623 - 2813 - 1

I. ①传… II. ①姜… III. ①传声器-电路理论-教材 IV. ①TN641.01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 053739 号

总 发 行: 华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

营销部电话: 020 - 87113487 87110964 87111048 (传真)

E - mail: scutc13@scut.edu.cn http://www.scutpress.com.cn

责任编辑: 兰新文

印 刷 者: 佛山市浩文彩色印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 9 插页: 2 字数: 225 千

版 次: 2012 年 4 月第 1 版 2012 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 1 ~ 1500 册

定 价: 23.00 元

版权所有 盗版必究

前 言

目前,广东省恩平市是中国最大的传声器(麦克风)制造基地,占全国销量的七成以上。许多企业希望能进行产品升级换代,但与之相适应的专业技术人才十分紧缺,因此对传声器技术的专业人才的培养显得尤其重要。然而,在国内有关传声器电路原理的相关教材目前还没有,相关的专业书籍亦少见。江门职业技术学院电声专业方向的核心课程“传声器电路设计与制造技术”经过几年建设,已成为院级精品课程,积累了较多的资源,加上多家企业的通力合作,编写了讲义,并在此基础上进行修编,使之成为传声器技术领域的校企合作特色教材。

本书与多家传声器龙头企业合作,有多名资深企业工程师参与构建课程内容体系、制定教学大纲,以企业真实产品为载体剖析电路原理,以典型产品的实际电路作为技能实训的电路,从了解原理、认识结构、参数测量、提高技术指标方法等各方面设计实验内容,为适应生产制造和产品设计打好基础。本书力求深入浅出,系统全面,突出理论性和实用性,注重学生分析问题、解决问题的能力与实践能力的培养。

本书由江门职业技术学院姜世芬主编,江门职业技术学院蔡雄志、陈健祥和刘尧葵老师参与编写工作。其中蔡雄志编写了书中全部的技能训练内容,陈健祥编写了第5章的内容,刘尧葵编写了第2章,其余内容由姜世芬编写。恩平市东安普欣电子厂资深技术工程师施宝新参加审编工作,并提供了大量的产品资料。在课程建设与教材编写过程中,得到了江门职业技术学院汤霖、李耀麟、黄凤玲和徐勋的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

传声器电路原理与实践教材编写与课程教学得到了多家企业的大力支持,包括广东省恩平市莱茵电子新科技有限公司、恩平市三鹰电子制品厂、恩平市贝克电子音响有限公司等,在此表示衷心感谢。

在编写过程中,参考、引用了一些前辈、同行的资料。尤其是对书后所列的参考文献的各位作者,在此深表感谢。

由于作者水平所限,书中存在的不妥之处,敬请读者批评指正,请您把对本书的建议告诉我们,以便修订时改进。所有意见和建议请发邮件至 jsfzwmw@163.com。

编 者

2012年3月

目 录

第1章 传声器概述	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 声学基础知识	(3)
1.2.1 声波与声场	(3)
1.2.2 声波的传播	(4)
1.2.3 声音的基本计量	(5)
1.2.4 计权网络与计权声级	(7)
1.2.5 频带和频带声压级	(8)
1.2.6 声级叠加规则	(8)
1.3 传声器结构原理	(9)
1.3.1 换能器的基本原理	(9)
1.3.2 传声器基本指向特性和频率响应特性	(12)
1.4 传声器的性能指标	(17)
技能训练一 常用传声器的认识与检测	(19)
技能训练二 传声器主要技术指标测试	(23)
思考题	(25)
第2章 有线传声器	(26)
2.1 有线传声器应用电路组成	(26)
2.1.1 前级低噪声放大电路	(26)
2.1.2 电容传声器的远距离幻象供电	(27)
2.1.3 前置放大器静噪电路	(28)
2.2 会议传声器	(29)
2.2.1 概述	(29)
2.2.2 会议室扩声用的两类传声器系统	(30)
2.2.3 会议传声器阵简介	(32)
2.3 有线传声器的使用与保养	(32)
2.3.1 传声器的使用	(32)
2.3.2 传声器的保养	(35)
技能训练三 低噪声传声器放大电路设计与制作	(36)
思考题	(40)
第3章 无线传声器发射电路原理	(41)
3.1 无线传声器简介	(41)

3.1.1 无线传声器系统组成	(42)
3.1.2 VHF 和 UHF 无线传声器	(43)
3.2 传声器发射工作原理	(45)
3.2.1 发射机的结构	(45)
3.2.2 无线传声器前置放大器	(47)
3.2.3 振荡器	(47)
3.2.4 频率调制器	(48)
3.2.5 高频功放与倍频电路	(49)
3.2.6 射频功率放大器及输出电路	(50)
3.2.7 天线	(51)
3.3 传声器典型发射电路分析	(53)
3.3.1 音频信号的压缩与扩展电路	(53)
3.3.2 发射电路	(53)
技能训练四 无线传声器发射器安装与调试	(55)
技能训练五 压缩扩展电路的测试	(59)
技能训练六 调频振荡发射电路的调试	(63)
思考题	(67)
第4章 无线传声器接收电路原理	(68)
4.1 无线传声器接收器基本知识	(68)
4.1.1 无线传声器接收器的分类	(68)
4.1.2 无线传声器接收机基本构成	(69)
4.2 无线传声器接收电路原理	(70)
4.2.1 接收机前级	(70)
4.2.2 射频混频器	(70)
4.2.3 中频过滤与调幅抑制	(72)
4.2.4 调频解调电路	(74)
4.2.5 音频静默技术	(76)
4.2.6 分集接收技术与天线	(77)
4.4 无线传声器典型接收电路分析	(80)
技能训练七 无线传声器接收机的安装与调试	(82)
技能训练八 调频解调应用电路测试	(88)
技能训练九 接收机音频信号处理电路测试	(90)
思考题	(93)
第5章 UHF 频段高性能无线传声器电路分析	(94)
5.1 UHF 频段无线传声器概述	(94)
5.1.1 无线传声器使用的频段	(94)
5.1.2 无线传声器产品分类	(94)

5.2	UHF 频段无线传声器发射电路	(95)
5.3	UHF 频段无线传声器接收电路	(99)
	技能训练十 传声器电路制作综合训练	(106)
* 第 6 章	数字无线传声器技术	(114)
6.1	概述	(114)
6.2	数字语音信号处理基础知识	(115)
6.2.1	模数转换	(115)
6.2.2	数字信号的调制	(117)
6.2.3	数字传声器用 $\Delta - \Sigma$ 模数调制技术原理简介	(120)
6.3	基于 nRF24Z1 的数字无线传声器技术方案	(122)
6.3.1	系统整体结构	(122)
6.3.2	系统硬件设计	(122)
6.3.3	系统软件设计	(126)
6.4	传声器阵列技术简介	(127)
	参考文献	(133)
	附录	(135)

第 1 章 传声器概述

学习目标

1. 掌握声波与声场基础知识以及声波传播的特性，了解声音的基本计量方法；
2. 掌握传声器的换能原理及电容传声器与动圈传声器的结构；
3. 掌握传声器的主要技术参数，理解传声器的基本指向性与频率响应特性。

1.1 概述

1. 传声器的定义

传声器（Microphone，MIC）是一种将声信号转变为相应的电信号的电声换能器，俗称话筒，又称微声器、麦克风。在语言通信（如电话）中使用的传声器，一般叫做传话器。它的作用是将声音信号转换成电信号，再送往调音台或放大器，最后从扬声器中播放出来。传声器在声音系统中是用来拾取声音的，它是整个音响系统的第一个环节，其性能、质量的好坏，对整个音响系统的影响很大。

2. 分类

传声器的种类很多。各式各样的音源有它们自己不同的声音特点，目前还没有一种传声器能把所有的声音特性都完美地拾取下来。为此，音响工程师们设计出各种不同类型的传声器，以适应不同音源特性的需要。传声器分类方法有多种，如可按原理结构、指向性、传输方式、用途、功能等分类。

按原理结构可分为：动圈式传声器、电容式传声器、带式传声器和驻极体传声器。

按指向性可分为：全指向传声器、双指向传声器、单指向传声器和强指向传声器。

按用途可分为：会议传声器、演唱传声器、录音传声器和测量传声器等。

按功能可分为：单声道传声器、立体声传声器和混响传声器等。

按输出阻抗可分为：高阻传声器（ $20 \sim 50 \text{ k}\Omega$ ）和低阻传声器（ $200 \sim 600 \Omega$ ）。

按传输方式可分为：有线传声器和无线传声器。

随着计算机信息技术的发展，数字化时代的到来，数字传声器逐渐成为热门产品，有了广泛的应用。

随着材料技术的发展，一些特殊结构的传声器技术随之发展。动圈传声器音质较好，但体积庞大。驻极体传声器体积小巧，成本低廉，在电话、手机等设备中使用广泛。新型传声器如硅微传声器基于 CMOS MEMS 技术，体积更小。其一致性比驻极体电容器传声器的一致性好的 4 倍以上，所以 MEMS 传声器特别适合高性价比的传声器阵列应用，其中，匹配得更好的传声器将改进声波形成并降低噪声。激光传声器在窃听中使用。

3. 传声器的发展历史

传声器的应用是在 19 世纪的后 25 年随着电话的出现才开始的。早先研制出的碳粒传声器今天仍在广泛使用。碳粒传声器工作起来像一个可变电阻。在声压的影响下，传声器膜片交替

地使碳粉压缩和松弛，引起电阻变化，从而产生与其成比例的信号电流。碳粒传声器噪声大、动态范围有限、失真大，但是当它作为电话使用时，所有这些缺点都无关紧要。

到了 20 世纪初，广播对传声器的质量提出了较高的要求；讲演会和音乐会也要求把声压更准确地变成电信号，这样就需要较好的传声器。因电磁感应原理应用到动圈传声器和铝带上，电容传声器研制出来了，近 70 年来它们的改进形成了今天传声器技术的基础。另外，压电原理也已用于传声器设计。某些结晶物质当它们受压或被弯折的时候，会在它们的相对表面之间产生电压。加上膜片就成了传声器。它的保真度差，所以很少在严格的录音中使用。某些陶瓷材料也有压电效应，在声纳界用陶瓷元件制造水下声学换能器“水下听音器”。

传声器出现了大约 50 年之后才成为录音的一个组成部分。从 19 世纪末直到 20 世纪 20 年代中期西电公司引进电气录音之前，录音工艺只是作为纯粹的声音机械方法发展的。到这个时候声学媒质的特性水平至少已与应用在无线电和电话的电技术水平不相上下了。无线电广播是依靠各种动圈传声器和铝带传声器发展的，在美国这些传声器式样一直到 20 世纪 40 年代中期都是录音的主要支柱。在 20 世纪 30 年代，美国无线电公司和西电公司，由于自己在电影和广播方面的利益，完成了传声器最重要的工程。电容器型传声器的发展或多或少局限于作校验和测试用。20 世纪 30 年代的欧洲，电容传声器发展很快，战后它对美国录音实践有很重大的影响。在 20 世纪 40 年代后期因为引进了磁带录音和密纹唱片，强调指出了 20 世纪 30 年代设计的动圈传声器的频响局限，于是，有较宽频响的电容传声器很快地满足了这一需要。20 世纪 50 年代和 60 年代发明了许多频响宽的优异的磁性传声器。而今天的录音实践大量地吸收了磁性和电容两种类型的传声器的优点。近 10 年来传声器已经变得又好又便宜。由于对各式传声器的要求增多，传声器技术迎来了改进大量生产技术和研制更好材料的新局面。

4. 传声器技术的发展趋势

(1) 高性价比、小型化。高质量电容传声器大都采用高质量大型振膜，具有优良的技术指标，且通过切换可实现多种指向性，适用于从音乐录音到语言录音很广的范围，但价格都很高。近年来，厂家根据录音实际需要，在保留优质传声器头和前级放大器的同时，取消指向性切换等附属功能，从而使传声器既保持了高音质，又大大降低了价格。如纽曼 TLM103，铁三角（audio-technica）的 AT4033a，森海塞尔（Sennheiser）的 MKH 系列等均属于此类传声器。

在满足高性价比的同时，传声器的小型化也是实况演出、电视转播等应用的迫切要求，近年来厂商们采取了各种措施，将传声器头（换能头）与前置放大器分开；采用微型元器件使前置放大器电路小型化；传声器与电缆直接相接以省去接插头等措施。目前还越来越多地出现了佩带型的超小型、隐蔽式传声器。

(2) 立体声化、特色化和专门化。与以前追求传声器宽适用面不同，当前传声器的显著特点是立体声化、特色化和专门化。近年来许多厂家推出了多种形式的立体声拾音传声器，立体声拾音已发展到 MS、XY、ORTF 及仿真头等多种方式。前置放大器采用场效应晶体管的传声器，音色不如采用电子管理想，因此，厂家在生产语音、单件乐器以及自然界专用传声器时，往往采用高质量的电子管前置放大器元件。针对不同乐器的声音特征和乐器结构特点、演奏要求，开发出特别适合各种拾取乐音的专用传声器系列（通常由

传声器和将其合理、牢靠地固定于乐器上的专用支架两部分组成), 能对乐器的整个音域均衡地拾音, 拾取的声音自然并能有效地消除机械噪声。还有一类专用于交响乐和轻音乐等录音的全方向性传声器, 其拾音特点是低音丰富、音色自然。由于全指向性传声器没有近讲效应, 因此距乐器很近拾音时可获得平直的频率特性, 已广泛用于对组鼓、架子鼓、钢琴的近距离拾音。

1.2 声学基础知识

1.2.1 声波与声场

1. 声波

声源体发生振动会引起四周空气振荡, 这种振荡引起的波就是声波。声波借助空气向四面八方传播。在开阔空间的空气中这种传播方式像逐渐吹大的肥皂泡, 是一种球形的阵面波。声音是指可听声波的特殊情形, 例如对于人耳的可听声波, 当这种阵面波达到人耳位置的时候, 人的听觉器官会有相应的声音感觉。

声音是一种波动现象。从物理学角度看, 声源振动时对周围相邻媒质产生扰动, 被扰动的媒质再扰动相邻的媒质, 扰动的不断传递形成声波。

自然界中大量不同的类型的波可以分为两类: 横波和纵波。

横波: 传播振动的媒质振动方向与传播方向垂直的波称为横波。在声频技术领域, 唱片的声纹、弦乐器弦的振动和无线电波等都是横波。

纵波: 传播振动的媒质振动方向与传播方向平行的波称为纵波。

声波是媒质振动(空气媒质)疏密交替变化与它的传播方向一致的纵波。

2. 声源体

扬声器、各种乐器以及人和动物的发音器官等都是声源体。地震震中、闪电源、雨滴、刮风、随风飘动的树叶、昆虫的翅膀等各种可以活动的物体都可能是声源体。它们引起的声波都比正弦波复杂, 属于复合波。地震产生多种复杂的波动, 其中包括声波, 实际上这种声波本身是人耳听不到的, 它的频率太低了(例如 1 Hz)。

3. 声场

存在着声波的空间称为声场。声场中具有声场媒质, 声源通过声场媒质进行传递。除了空气, 水、金属、木头等也都能够传递声波, 它们都是声波的良好媒质。在真空状态中声波不能传播。

声场中主要由媒质密度 ρ , 声音在媒质中产生的声压 p 和质点振速 v 三个物理量来确定媒质的性质。振动前媒质所处的状态为静态, 三个物理量分别为 ρ_0 、 p_0 、 v_0 。

(1) 扰动时(动态)媒质密度 ρ 。空气媒质在声源振动时产生扰动, 空气媒质处于“压缩—疏张—压缩—疏张”的变化状态, 变化中的空气密度 ρ 与静止时的空气密度 ρ_0 相比, 压缩时 $\rho > \rho_0$, 疏张时 $\rho < \rho_0$ 。

(2) 声压 p 。根据气体状态方程, 当 $\rho > \rho_0$ 时, $p > p_0$; 当 $\rho < \rho_0$ 时, $p < p_0$ 。

(3) 质点振速 v 。 v 是媒质质点因声波传播而引起的相对于整个媒质的振动速度, 该速度是有效质点速度(即均方根值)。当媒质质点的运动方向与波的传播方向同向时, 质点的振速规定为正, 反之为负。

4. 平面波的主要性质

(1) 频率和波长。声波是由声源的机械振动形成的，该机械振动是简谐振动，其位移为时间的函数。

$$\chi = \chi_m \cos(\omega t + \theta) \quad (1-1)$$

式中， χ_m 表示振动位移的振幅值； ω 表示声源振动的角频率； θ 表示初相位。因声源振动而振动的空气媒质质点其振动角频率也是 ω 。媒质中所有受到扰动的质点都以角频率 ω 在各自的平衡位置附近振动， ω 又称为声波的波动角频率。

声波的频率 $f = \frac{\omega}{2\pi}$ ， f 称为声波的波动频率，也就是声源的振动频率。

声波波长：任何两个振动相位相同而又相邻的媒质质点间的距离称为声波的波长，用 λ 表示。

(2) 声波的传播速度。声波的传播速度就是扰动在媒质中的传播速度。在常温时空气媒质中的声速为： $c_0 = f\lambda$ 。

对于理想媒质，通过绝热过程物态方程的计算可以推导出一个具有实用价值的公式

$$c_0(t) \approx 331.4 + 0.6t \quad (\text{m/s}) \quad (1-2)$$

(3) 声阻抗率与媒质的特性阻抗。

媒质质点的声阻抗率为：

$$z_s = p/v \quad (1-3)$$

式中， p 为声场中的声压； v 为该位置媒质质点的振动速度。声阻抗率的物理含义为：存在声波的空间（声场）中某位置媒质的限速能力。

(4) 声压及媒体质点振速。对于声场中某一确定的位置，声压随时间而变化，而在同一时刻，声压又随位置而变化，即平面声波在传播过程中的声压，既是时间又是位置的函数。同样媒质的振动速度也会随时间和位置变化。

1.2.2 声波的传播

在声波传播过程中，声场空间是比较复杂的，声波传播过程中会遇到障碍物、反射体及不同的媒质，还会与其他声波相遇。声波传播主要有以下几个特性。

1. 反射、透射与折射

当平面声波垂直入射于两媒质界面时，界面处将产生声波的反射和透射；当平面声波与媒质界面成某一角度入射时，在界面处将产生反射与折射。

2. 衍射和散射

当声波传播过程中遇到障碍物时，能绕过障碍物边缘继续传播的现象称为声波的衍射。声波的衍射现象的机理基于声传播的惠更斯原理，即声波波面上的所有点都可以看成是能够发生球面波的子波源，这些子波源的声波波阵面就是传播声波的新波阵面。

声波在传播过程中朝许多方向做不规则反射、折射或衍射，即为声波的散射。声波碰到与波长相比微小的障碍物时，由于次级声波几乎各向均匀，这种现象称为散射。

3. 干涉、驻波现象

(1) 声波的干涉现象。

声波的线性叠加原理：两个或两个以上的波在同一时间，存在同一空间时，声波的合

成等于各个波简单相加。通常研究的音频率的波为正弦波,语音、乐音含有许多频率成分是复杂声波,由简单正弦波构成复杂声波即声波的线性叠加原理。

根据声波的线性叠加原理,两列声波在空间某位置相遇叠加,合成声场的声压等于每列声波的声压之和。

设两列声波的声压分别为:

$$p_1 = p_{1m} \cos(\omega t - \varphi_1), p_2 = p_{2m} \cos(\omega t - \varphi_2)$$

则合成声压为:

$$p = p_1 + p_2 = p_{1m} \cos(\omega t - \varphi_1) + p_{2m} \cos(\omega t - \varphi_2) = p_m \cos(\omega t - \varphi) \quad (1-4)$$

式中, $p_m^2 = p_{1m}^2 + p_{2m}^2 + 2p_{1m}p_{2m} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$, $\varphi = \tan^{-1} \frac{p_{1m} \sin \varphi_1 + p_{2m} \sin \varphi_2}{p_{1m} \cos \varphi_1 + p_{2m} \cos \varphi_2}$ 。

式(1-4)表示合成声波仍然是一个相同频率的声振动,合成声压的振幅与两列声波的相位差 φ 有关。当 $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 0$ 时,有

$$p_m = p_{1m} + p_{2m} \quad (1-5)$$

而对于空间 $\varphi = \pm \pi, \pm 3\pi, \dots$ 的那些位置,

$$p_m = p_{1m} - p_{2m} \quad (1-6)$$

式(1-5)和式(1-6)说明,频率相同的声波叠加时所产生的声压幅值,与单个声波比,具有不同空间及时间分布,这种现象称声波的干涉。

相长干涉:当频率相同的一个声波的波峰与另一个声波的波峰相遇、波谷与波谷相遇形成相长干涉,合成波声压增加(响度加大)。

相消干涉:当频率相同的一个声波的波峰与另一个声波的波谷相遇,或波谷与波峰相遇形成相消干涉,合成波声压降低(响度减小)。

(2) 驻波现象。

两列频率相同、传播方向相反(相向)传播的平面声波叠加形成的一种特殊的干涉现象即为驻波现象,叠加形成的波称为驻波。

室内两平行墙壁之间,垂直于墙壁传播的入射波与反射波叠加,当墙壁吸声接近零时,反射波声压幅值与入射波声压幅值几乎相等,于是波腹处的声压为两倍波峰的声压值,波节处的声压为0,这种波又称为定波。

4. 声波的多普勒效应

当声源与听音者有相对运动时,听音者听到的声波的频率与声源的频率不相同的现象称为声波的多普勒效应(多普勒,奥地利物理学家)。

当听音者与声源两者相互接近时,听音者听感接受到的频率升高;相互离开时,听音者接收到的频率降低。

1.2.3 声音的基本计量

1. 声强和声强级

声能密度:媒质单位体积内所具有的声能量称为声能密度。如果将它对一个振动周期取平均值,则得到声能量的平均值。单位体积内的平均声能量称为平均声能密度。

平均声能量流:单位时间内通过垂直于声传播方向面积 S 的声能量称为平均声能量流或平均声能通量。

声强：单位面积上的平均声能量流就称为声强，记为 I ，单位 W/m^2

$$I = \frac{\bar{w}}{S} \quad (1-7)$$

式中， $\bar{w}$ 表示平均声能量流， W 。

在自由声场中，点声源发出的球面波均匀地向四周辐射声能，因此，距声源中心 r 米的球面上的声强为：

$$I = \frac{w}{4\pi r^2}$$

在自由平面或球面波的情况下，设有效声压为 $p(\text{Pa})$ ，传播速度为 $c(\text{m/s})$ ，媒质密度为 $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$ ，则在传播方向中的声强为：

$$I = \frac{p^2}{\rho c} \quad (1-8)$$

式中， ρc 为媒质特性阻抗，对于空气媒质，在大气压为 10^5 Pa 、温度为 22°C 下， $\rho c = 412 \text{ N} \cdot \text{S}/\text{m}^3$ 。

声强级是声强与基准声强之比并以 10 为底的对数的 10 倍（单位 dB）

$$L_1 = 10\lg\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (1-9)$$

式中， I_0 为基准声强，在空气中，规定 $I_0 = 10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$ 或 $1 \text{ pW}/\text{m}^2$ ，它相当于人耳对 1000 Hz 声音的可听阈声强，其相应的声强级为 0 dB 。式（1-9）也可改写为：

$$L_1 = 10\lg I + 120 \quad (1-10)$$

2. 声压及声压级

声波在媒质中传播时，媒质某点（体积元）由于受声波扰动后，压强超过原先的静压力的值，称为声压，单位为帕（Pa）。

一般使用时，声压是有效声压的简称。对一定时间间隔取瞬时声压的均方根值称为有效声压。

声压级是声压与基准声压之比并以 10 为底的对数的 20 倍。对于空气声，规定基准声压为 $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ ，即 $20 \mu\text{Pa}$ 。

声压级单位为贝尔（Bell），dB。它描述听感与声功率的变化，不是变化的绝对量而是变化的比率关系。这种比率常以 10 为底的对数表示，其比值为无量纲的数，称为贝尔。分贝是贝尔的 $1/10$ ，即声压级：

$$L_p = 10\lg\left(\frac{p^2}{p_0^2}\right) = 20\lg \frac{p}{p_0} \quad (1-11)$$

由声压级也可求声压： $p = p_0 \cdot 10^{\frac{L_p}{20}}$ 。

3. 声功率及声功率级

声源的声功率是单位时间内声源辐射的总声能量，即单位时间内通过垂直于声传播方向、面积为 S 的截面的平均声能量，称为平均声能量流或平均声功率，单位为瓦（W）。一个声源所辐射的声功率，应当流过包围声源的所有表面。总的声功率应是所有面积元 ΔS 与其声强 I_s 的乘积的总和，或等于总表面积与该表面积上的平均声强的乘积：

$$W = \sum I_s \Delta S = I_{av} \sum \Delta S$$

式中, I_{av} 为平均声强。远场时, 声强可以通过测量有效声压来求出, 从而可求出声源的声功率。

例如, 在自由声场中围绕声源半径为 r 的假想球面, 设声源辐射的声功率为 W , 则单位球面面积的径向平均声强 (即单位面积的平均功率) 为 $I_{av} = \frac{W}{4\pi r^2}$ (W/m^2), 相应于 I_{av} 有平均平方声压 p_{av}^2 , 则声源的声功率为:

$$W = \frac{4\pi r^2 p_{av}^2}{\rho c}$$

声功率级是声源声功率与基准声功率之比并以 10 为底的对数的 10 倍 (单位为 dB)

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (1-12)$$

式中, W_0 为基准声功率, 规定为 $10^{-12} W$ 或 $1 pW$ 。当基准功率取 $1 pW$ 时:

$$L_w = 10 \lg W + 120 \quad (1-13)$$

4. 声强级和声压级、声功率级的关系

(1) 声强级和声压级的关系: 由式 (1-8), 及声强级及声压级的定义, 可得:

$$L_I = L_p - c_1 \quad (1-14)$$

式中, $c_1 = 10 \lg \frac{\rho c}{400}$ 。空气特性阻抗等于 $400 N \cdot S/m^3$, $c_1 = 0.13 dB$ 。

(2) 声强级与声功率级的关系。

当声强是沿着包围声源的某一假想表面的总表面积 S 均匀分布时, 声源声功率与声强的关系为 $W = L_{av} \cdot S$, L_{av} 为平均声强; 而基准声功率 $W_0 = I_0 S_0$, I_0 为基准声强, S_0 为基准面积, 取为 $1 m^2$, 因此, 声强级与声功率级的关系为:

$$L_w = L_I + 10 \lg S \quad (1-15)$$

当 S 取 $1 m^2$ 时, $L_w = L_I$ 。

(3) 声压级随距离的变化。

声压级不仅取决于声源功率, 而且取决于离声源的距离, 以及声源周围空间的声学特性。

在点声源向自由空间辐射声能的情况下, 声波将以球面波辐射。这时声压级随着离声源距离增加一倍成反比地衰减 $6 dB$, 称为平方反比律。

如果声源是一线声源, 在自由场条件下均匀辐射声能, 则声波将以柱面波辐射, 这时距离增加一倍, 声压级衰减 $3 dB$ 。

在点声源向自由空间辐射声能的条件下, 距离声源 $r m$ 处的声压级与声功率级的关系为:

$$L_p = L_w - 20 \lg r - 11 \quad (1-16)$$

在半自由空间条件下 (即点声源置于刚性地面向半无限空间辐射声能), 则为:

$$L_p = L_w - 20 \lg r - 8 \quad (1-17)$$

1.2.4 计权网络与计权声级

1. 频率计权网络

由于人耳并非对所有频率都一样敏感, 所以为了得到比声压级能更好地与人耳听感响

度判别密切相关的级，在声级中加进了频率计权网络。这些网络改变了声级计对不同频率的敏感性，其中，A、B、C 计权网络分别模仿响度级为 40 方、70 方、100 方的等响度曲线。有的声级计还有 D 计权网络，它仅用于航空噪声测量。

A 计权网络得到最广泛的应用，因为它能较好地模仿人耳的频响特性。B 计权网络实际上很少使用。对很多实际情况，C 计权网络测出的声级是总声压级的近似值。

使用 A、B 或 C 计权网络所测得的声级分别称为 A 计权声级、B 计权声级和 C 计权声级，或分别简称为 A 声级、B 声级和 C 声级，单位是分贝（dB）。

2. 声级计

声级计的工作原理是，信号通过传声器把声压转换成电压信号，经过放大器把电压信号放大，再通过计权网络在声级计的表头上显示出 dB 值。为了使测量结果与人耳听觉感觉一致，测量仪表的指示数值应该按照人耳对声音的响应方式加以计权，即是 A、B、C 和 D 四挡的计权网络。这 4 挡计权网络表示声级计所接收的声音按不同程序滤波，声级计放大率的频率响应的曲线在频率为 1000 Hz 处是 0 dB，其他频率大多为负数。

设计三种计权网络的目的是：对于低于 55 dB 声压级的声音用 A 网络来读数，对于 55 ~ 85 dB 声压级的声音用 B 网络来读数，对于 85 dB 以上声压级的声音用 C 网络来读数。利用 A、B、C 计权网络进行测量，所得的值为 L_A 、 L_B 、 L_C 。当 $L_C = L_B > L_A$ 时，表示声音主要集中在中频段；当 $L_C = L_B = L_A$ 时，表示声音主要集中在高频段； $L_C > L_B > L_A$ 时，表示声音主要集中在低频段。对于航空器声，主要测量感觉噪声级，以 C 网络进行测量。

1.2.5 频带和频带声压级

1. 频带（频程）

由于人耳可听频率为 20 Hz ~ 20 kHz，实际上不可能测量这个范围中的第一个频率的声压级，测量总是在某一频率范围进行。这个频率范围称为频带，由上限频率和下限频率确定带宽。

声学中常用的频带宽是倍频带，或称倍频程。一个倍频程带是上限截止频率 f_H 和下限截止频率 f_L 两倍频带范围，即 $f_H = 2f_L$ 。

对一个噪声频谱需要得到比倍频带更详细的资料，尚可用 1/3 倍频程。

N 倍频程的一般关系式为：

$$f_H = 2^n f_L \quad (1-18)$$

式中， n 为倍频带系数，可为整数也可为分数。 $n = 1/3$ 时，指 1/3 倍频带； $n = 1$ 时，指倍频带。

频带的中心频率为上、下限截止频率的几何平均值，带宽为：

$$B = f_H - f_L \quad (1-19)$$

2. 倍频带声压级和 1/3 倍频带声压级

在一个倍频程带宽中的声压级称为倍频带声压级，简称倍频带级。在 1/3 倍频程带宽中的声压级，简称 1/3 倍频带级。当需要比倍频带谱更详细的频谱资料时，可使用 1/3 倍频程分析噪声的频谱。

1.2.6 声级叠加规则

所叠加的声级不能简单地认为只是各个声级的代数和。这是因为用分贝表示的声级并

不是一个线性标度，而是一个对数标度。当几个不同声源同时发声时，在某处形成的总声强是各个声强的代数和，即

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n \quad (1-20)$$

它们的总声压应为各有效声压的均方根值。

当 n 个相同声源同时发声时，总声压级应为：

$$L_p = L_{p1} + 10 \lg n \quad (1-21)$$

式中， L_{p1} 表示一个声源单独发声时的声压级。

1.3 传声器结构原理

电声器件是指能将电、声能互相转换的换能器件。一般分为前端和终端两类部件，常见的前端部件有传声器、拾音器、送话器，终端部件有扬声器、扬声专用器箱、耳机、受话器等。本节则讨论传声器及其电路原理。

1.3.1 换能器的基本原理

目前使用最多的传声器是动圈传声器和电容传声器。

1. 动圈传声器 (dynamic microphone)

(1) 动圈传声器换能原理。

动圈传声器主要由振动膜片、音圈、永久磁铁和升压变压器等组成。如图 1-1 所示，其音圈粘牢在振膜上，同时又能处在磁场中。根据电磁感应原理，振膜运动时，将会在音圈两端产生一个电位差：

$$E = Blv \quad (1-22)$$

式中， E 为输出电位差，V； B 为磁路中的磁场密度，T； l 为音圈的长度，m； v 为音圈运动的速度，m/s。

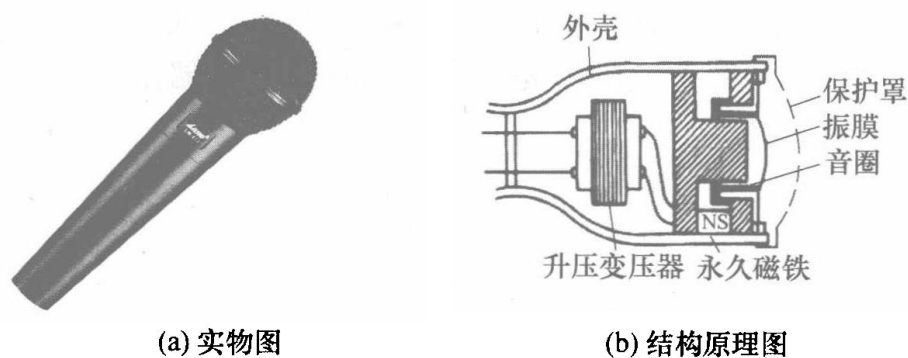


图 1-1 动圈传声器

动圈传声器通常由一个约 0.35 mm 厚的聚酯薄膜来充当传声器的振膜。薄膜上精细地附着—个绕有导线的芯，叫音圈，它精确地悬挂在高强度磁场中，当人对着话筒讲话时，膜片就随着声音前后颤动。当声波冲击薄膜的表面时，附着的音圈随声波的频率和振幅成正比例移动，使音圈切割永久磁铁提供的磁力线。根据电磁感应原理，在线圈两端就会产生感应音频电动势，在音圈导线中就产生了有着特定大小和方向的模拟电信号，从而完成了声电转换。为了提高传声器的输出感应电动势和阻抗，还需装置一只升压变压器。

动圈传声器的阻抗较低，一般在 $30 \sim 50 \Omega$ 之间，就是说，可以使用很长的线而不会由于线间电容的存在产生高频分流效应。传声器内还装有一个变压器，使音圈与放大器输入阻抗相匹配，同时也起到使信号电压升高的作用。

为了消除音圈受杂散磁场感应的交流声信号，有的传声器内设置了交流声补偿线圈。这个线圈与音圈的大小、圈数完全一样，但不放在磁系统里，也不连接振膜，因而不受声波推动，它与音圈反相串联，当传声器受到机械冲击时，音圈和抗冲击声线圈同时产生感应电动势，将两个线圈反相串联，两个感应电动势相互抵消，从而没有噪声输出。

(2) 动圈传声器的特点。

动圈传声器的构造特点使其具有较强的抗机械冲击能力，结构简单、稳定牢靠、使用方便、固有噪声小。早期的动圈式传声器灵敏度较低、频率范围窄，随着制造工艺的成熟，近几年出现了许多专业动圈传声器，其特性和技术指标都很好，被广泛应用于语言广播和扩声系统中。

在户外拾音或进行人声拾音时，风和人发声时的气流会冲击声电转化件的膜片，使传声器产生很大的杂音，甚至使振膜无法自由运动，这时需要进行防风。风罩就是起这个作用。它是由外壳的金属罩和内部的海绵体组成，金属罩可以抵抗外力的冲击，保护传声器；海绵体会减弱、阻止气流的进入。这样，人讲话时的气流运动和风的气流运动就不会影响拾音的效果。由于声音不是气流的定向运动，而是一种机械波动，所以它受到风罩的影响很小。若是在强风的天气下，气流的干扰作用可能很大，这时需要在传声器的外壳上再加一层防风器件（防风篮）。

另外，声阻、尼龙网栅、谐振腔都是传声器为了改进声音质量而设立的声学处理措施。

2. 电容式传声器原理

电容式传声器是一种目前性能相对较好的传声器类别，它的工作核心是电容器。它主要有三种类型：声频式、射频式、驻极体式。在讲解三种传声器工作原理前，有必要先认识电容器的原理。

图 1-2 是电容传声器的实物图和结构原理图，电容器由两块间隔的金属板组成。在两块金属电极板之间施加一个电势 E ，电容器将充以电荷 Q ，储存在电容器中，它们的关系由式 (1-23) 表示。

$$E = \frac{Q}{C} \quad (1-23)$$

式中， Q 为电量， C 为电容量， F 。

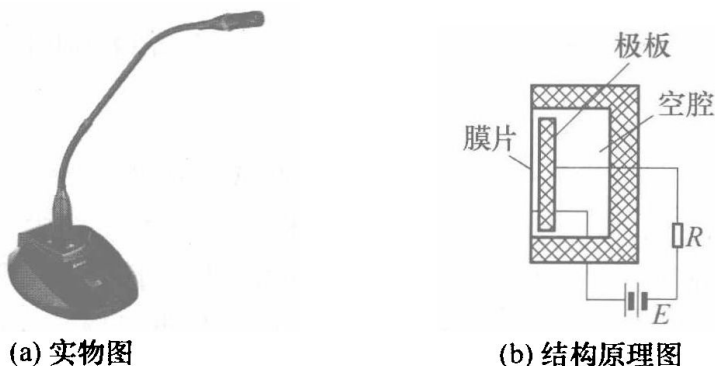


图 1-2 电容传声器