



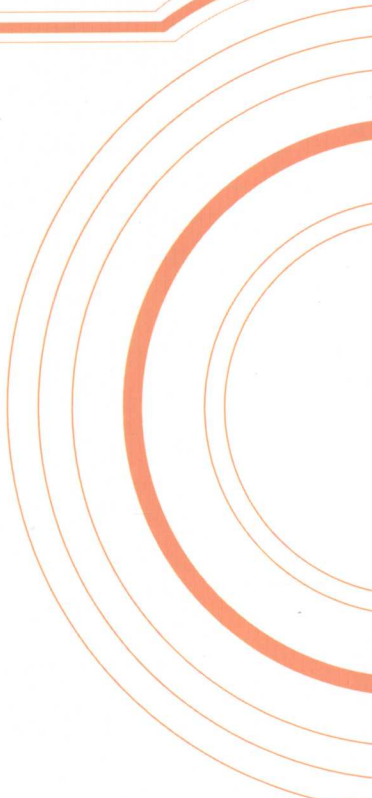
吴宗汉 编著

微型驻极体 传声器 的设计



国防工业出版社

National Defense Industry Press



微型驻极体 传声器的设计

吴宗汉 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

微型驻极体传声器虽已在科技和人们日常生活中有着广泛应用,并成为一类不可缺少的电声器件,但在国内对微型驻极体传声器进行系统、全面讨论的书籍却不多见,为弥补此不足,根据实际需求编写了本书。本书从微型驻极体传声器的基础理论开始,分四部分介绍:第一部分是基础理论,着重介绍声振动、膜振动、驻极体等内容;第二部分着重介绍了微型驻极体传声器的设计、计算;第三部分对影响微型驻极体传声器性能的诸多因素进行了分析、讨论;第四部分介绍了对微型驻极体传声器的相关指标、参数的测量及必需测量设备的使用方法。

本书可作为高等院校电子工程、通信工程等相关专业高年级大学生的参考书;对从事驻极体传声器设计、生产和使用的工程技术人员来说,也是一本手边必备的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

微型驻极体传声器的设计/吴宗汉编著. —北京:国防工业出版社, 2009. 5

ISBN 978-7-118-06157-4

I. 微... II. 吴... III. 传声器—设计 IV. TN641

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 008398 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 7 $\frac{1}{2}$ 字数 225 千字

2009 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 22.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

浅处不妨有卧龙

——为吴教授新书序

王以真

吴宗汉教授新著《微型驻极体传声器的设计》出版,这是电声界的一件喜事。吴教授让我写一篇序,借此机会,祝贺吴教授新书出版,奉上鲜花一束。

传声器和扬声器是扩声系统一前一后两种电声器件。国内外,关于扬声器的专著不多,而关于传声器的专著更是凤毛麟角。1979年翻译出版《传声器的使用》,1984年,李宝善先生出版过《近代传声器和拾音技术》一书,2004年吴教授出过一本《驻极体与驻极体话筒》。而吴教授的这本新书,总结了近年来驻极体传声器的进展,特别是微型驻极体传声器的设计与制作,填补了这方面的空白。传声器是小产品,微型传声器更小,但小产品也有大学问、大哲理、大空间、大智慧,非高手不能驾驭。借用唐诗所云“浅处不妨有卧龙”,细读此书者,自可意会。

吴宗汉教授是南京东南大学教授,曾在日本、法国等国访问研究,有多本物理学专著及近百篇论文问世。吴教授还走出书斋,到深圳豪恩声学股份有限公司担任技术顾问。

去年由吴教授介绍,本人应邀到深圳豪恩声学股份有限公司交流讲学,对豪恩声学股份有限公司,对吴教授有了更进一步的了解。

有人讲中国的一些企业发展大体有三个阶段:

第一阶段,以资金积累为主要目的。

第二阶段,以市场为导向。

第三阶段,以技术、技术创新为导向。

目前大部分企业仍处在第二阶段,只有少数企业正向第三阶段迈

进。豪恩声学股份有限公司是正向第三阶段迈进的少数企业之一。

从表面上看,没有人对重视技术和重视技术革新持反对意见。但是真正要将技术、技术创新放在重要位置却是件很难很难的事。关键是其观念未有转变。我看到吴教授正在尽全力推动深圳豪恩声学股份有限公司的技术发展、新产品开发、生产设备改进……。现在,豪恩声学股份有限公司的论文数、专利数在深圳同类企业中是名列前茅的。也如深圳豪恩声学股份有限公司董事长王丽女士所讲,“……深圳豪恩声学股份有限公司在高新技术研发上与国内外诸多有名大学的联手,与国内外电声专家的密切联系,使深圳豪恩声学股份有限公司在与国际接轨,开拓国际市场方面越发崭露头角。”

唐代诗人杜牧推崇诗人张祜“谁人得似张公子,千首诗胜万户侯”。这当然是诗人的浪漫。不过艺术、科技……这些软实力早晚会被社会和人们肯定。

吴宗汉教授在电声领域努力耕耘着,以自己的行动、专著来推动中国电声技术的发展。就像酒越陈越香一样,时间过得越久,人们越能体会这些著作的作用。

中国正在由电声大国向电声强国进展。我曾归纳扬声器强国的六个条件,其中第五条是:拥有一批扬声器(零部件、音箱)科研单位和科研人才,出版一批扬声器的专著和论文,有足够数量的扬声器技术后备人才。

这条是人们提到的软实力,吴教授的专著出版,其他电声专家学者专著的出版,意味着这种共识得到了广泛的认同。我在祝贺吴教授专著出版之际,期待着吴教授及国内专家学者,有更多更精彩电声专著问世。

前 言

随着电子工业的激剧发展,对电子元器件的要求也越来越高,它不仅要求元器件的尺寸、体积小,而且要求其性能指标高,因此,元器件性能的设计是一项重要的工作。本书是在这一思想指导下对微型驻极体电容传声器各个部分设计工作进行汇总而编写的。由于驻极体传声器涉及电声器件机械结构设计和电路设计两大部分的内容,而其中又包括基础声学、声振动等方面的知识和半导体器件特性以及电子线路方面的基础知识,为此,本书从必需的基础知识开始作系统的介绍,进而介绍一些具体的设计方法和对其影响的因素等,再对它们作相应的讨论。

本书是笔者在深圳豪恩声学股份有限公司所作的内部技术讲座的基础上补充和汇编了其他资料而写成的。在编写过程中得到了岳德刚、朱彪、陈虎、朱纪文、温志峰、唐啸等诸位的支持,尤其是岳德刚编写的《ECM通用测试技术》,对本书的测量部分的编写提供了极大的帮助。另外,本书的完成还得到了深圳豪恩声学股份有限公司的王丽董事长、李军总经理,瑞声声学股份有限公司的潘中来主席,浙江新嘉联电子股份有限公司的丁仁涛董事长,新厚泰电声科技有限公司的林朝阳总经理等人的支持和帮助,特致谢意。

由于笔者水平有限,书中肯定会有不当之处,敬请读者和同行不吝指正。

作 者

目 录

基础篇

第 1 章 基础知识	1
1.1 声波与声波波动方程	1
1.2 机械振动系统特性	3
1.2.1 棒振动	4
1.2.2 张紧膜的振动	7
1.2.3 圆形板的振动	9
1.3 膜振动模式的讨论	11
1.3.1 均匀矩形膜	12
1.3.2 均匀方膜	17
1.3.3 均匀圆膜	20
1.3.4 均匀椭圆膜	26
1.3.5 膜间过渡和振动模式比较	29
1.4 膜波动方程的数值解法	34
1.5 膜的受迫运动	38
1.5.1 任意力, 无负载	38
1.5.2 任意力, 局部负载	39
1.5.3 均匀负载, 均匀力	40
1.6 驻极体方程	43
1.7 J-FET 原理	44
1.8 ECM 等效模型及相关参数影响的特性	50
1.8.1 极头部分的等效模型	51

1.8.2 IC 部分的等效模型	55
------------------------	----

设计篇

第2章 ECM 的设计	65
-------------------	----

2.1 ECM 力—声—电类比模型的建模与计算	65
2.2 驻极体方程的修正设计	80
2.3 J-FET 特性对传声器设计的修正	84
2.4 指向性传声器的设计	94
2.5 硅微驻极体电容传声器设计中的有关问题	99
2.5.1 常见硅基微型传声器	99
2.5.2 振膜设计	105
2.5.3 声学设计	106

讨论篇

第3章 ECM 特性影响因素	107
----------------------	-----

3.1 ECM 结构影响分析	107
3.2 膜振动特性与 ω 、 ω_0 、 ω_g	116
3.3 微型传声器的膜振动特性	130
3.4 静电放电、电磁干扰和回音损耗	133
3.4.1 静电放电	133
3.4.2 电磁干扰	143
3.4.3 回音损耗	152
3.5 零部件材质物性对 ECM 特性的影响	156
3.5.1 背极式 ECM 中背极材料	156
3.5.2 振膜式 ECM 中的背极材料	165
3.5.3 背极和膜片带不同电荷实验的结果	170
3.6 输出电路中元件等效特性	171
3.7 ECM 结构中接触电阻的测量	174

3.8	传声器制备过程中的无铅焊料	177
3.8.1	铅的危害与无铅化的实施	178
3.8.2	焊料使用行业对无铅焊料的要求	179
3.8.3	无铅焊料研发现状	180
3.8.4	无铅焊料的比较	181

测量篇

第4章	ECM通用测试技术	183
4.1	测试条件	183
4.1.1	测试声场	183
4.1.2	测试信号	185
4.2	ECM主要部件性能	187
4.2.1	驻极材料表面电位	187
4.2.2	ECM振膜张力	188
4.2.3	声阻抗	189
4.2.4	J-FET性能	194
4.3	电声性能	197
4.3.1	自由场灵敏度	197
4.3.2	输出阻抗	199
4.3.3	信噪比	201
4.3.4	总谐波失真	201
4.3.5	指向性	202
4.3.6	传声器的噪声	205
4.3.7	相位	207
4.3.8	响度评定值	208
4.3.9	计权终端耦合损耗	215
4.3.10	回声损耗	216
4.4	电磁兼容	217

4.4.1	静电放电测量	218
4.4.2	射频电磁辐射测量	222
4.4.3	工频磁场干扰测量	225
4.5	其他性能	226
附录 A	ECM 工作及测试条件	228
附录 B	材料的吸声系数测试计算表	229
附录 C	RF 抗干扰测试的 TEM 小室	231
附录 D	Brüel&Kjær3560 型声学及振动测试仪	234
附录 E	ECM 结构与相应特性关系速查表	236
附录 F	J-FET 及相关电路对 ECM 特性影响速查表	238
参考文献		241

基础篇

第 1 章 基础知识

1.1 声波与声波波动方程

声振动在媒质中传播将振动状态传播出去,描述这种声振动传播的规律用声波波动方程。因为在声传播过程中,声场中各点的声压是不同的,而且对同一点不同时间的声压也是不同的。所以,声压 p 一般是空间和时间的函数,即 $p=p(x,y,z,t)$ 。建立声压随空间位置和时间变化,两者之间的数学表示式就是声波波动方程。

声波可以在固体、液体、气体媒质中传播。假定媒质是理想流体,而且声波传播时产生的稠密和稀疏的过程是绝热的,则由小振幅声波理论可推导出声波的波动方程,即

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2} - \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (1-1)$$

式中: ∇ 为拉普拉斯算子,它在不同的坐标系中有不同的形式,在直角坐标系中,有

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

c 为声波在媒质中的传播速度,它与媒质受声扰动时的压缩特性有关。

定量描述声波的主要参量有媒质密度、媒质振动的速度和声压。

首先讨论媒质密度。在没有声波作用时的媒质密度称为静态密度 ρ_0 ,当有声波作用时,它将有规律地产生稠密和稀疏状态变化。空气是

常见的一种媒质,在 20°C 时,一个标准大气压 p_0 下 ($1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$), 空气的静态密度为 1.2 kg/m^3 ; 在 0°C 时,一个标准大气压下,空气的密度 ρ 则为 1.293 kg/m^3 。若认为空气是理想气体,则声速为

$$c = \sqrt{\frac{\gamma p_0}{\rho}} \quad (1-2)$$

式中: γ 为比热比。

0°C 时声速 $c = 331.6 \text{ m/s}$, 因声速与气体媒质平衡状态的参数有关, 温度改变, 声速也随之改变, 通常是空气媒质, 则声速为

$$c \approx 331.6 + 0.6t \quad (1-3)$$

式中: t 为温度。

按式(1-3)可计算出在空气中温度为 20°C 时的声速 $c \approx 334 \text{ m/s}$ 。

对液体等一般流体, 其声速为

$$c = \sqrt{\frac{1}{\beta_s \rho}} \quad (1-4)$$

对于水, 在室温 20°C 时, $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$, $\beta_s = \frac{1}{\gamma p_0} = 45.8 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{N}$, 则按式(1-4)可计算出声速 $c \approx 1480 \text{ m/s}$ 。

由于水中压强和密度间的物态关系比较复杂, 从理论上计算声速与温度的关系比较困难, 因此往往根据实验测定再总结出经验公式。

其次讨论媒质质点振动速度 v 。质点振动速度是一个向量, 对于空气中传播的声波(纵波)来说, 工程中按如下原则确定其相位: 当质点向着声波传播方向振动时, 其质点振速的相位规定为正; 反之为负。质点振速的国际单位制单位为 m/s 。

最后讨论声压 p 。声压是由声波作用所引起的声场中某个部分的交变压强。声压是标量, 但它有相位。其相位将按下面原则区分正负: 当有声波时媒质中的总压强比静压强(在空气中即为大气压)增加时, 其声压相位为正; 反之为负。因此, 正声压意味着该处媒质密度增大(密); 负声压意味着该处媒质密度减小(疏)。在声学工程中, 过去声压常采用厘米·克·秒制的压强单位: 达因/厘米², 达因/厘米² 又称“微

巴”(μbar);随着国际单位制的推广,声压也逐渐采用国际单位制的压强单位:牛顿/米²,牛顿/米²也有专门名称:“帕斯卡”,简称“帕”(Pa)。根据量纲关系不难推算出帕与微巴有如下关系:

$$1\text{Pa} = 10\mu\text{bar}$$

在工程中也常用到空气的静态压强(大气压) p_0 值,一个标准大气压 $p_0 = 1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 。在工程计算中有时也可取其近似值: 10^5Pa 。

在实际工作中,为简化计算,常将声波简化处理,例如,在细管中的声波,距离声源较远处的声波等都可以近似按平面波处理;又如,当在自由空间中声源的尺寸较小时,也可以近似看成一个“点声源”,这时的声波可看成球面波等。但是,不论是平面声波还是球面声波(以及其他形式的声波),只要媒质的特性(如 ρ_0, c_0)是已知的,声压 p 和质点振速 v 之间会有一些特定的关系,因此,可以共同用一个参量来描述声波,由于声压能够用仪器很方便地测量到,所以也有从能量角度来讨论声波的,本书不再赘述,可参考有关书籍。

1.2 机械振动系统特性

我们常见的“Microphone”一词,国内常用的译名有“传声器”、“麦克风”、“话筒”等,对微型麦克风(话筒)则还有习惯的叫法“咪头”。本节我们先对传声器的机械振动特性作讨论。传声器在声场中受声波作用后就会有相应的振动,为此,下面将介绍有关的振动方式和相应的共振频率及有关的频率特性(本书讨论的内容是以横振动为主的)下面介绍几个基本物理量。

基频——周期波(或周期量)的最低频率分量。

谐波——周期波(或周期量)中,频率等于基频的整数倍的分量。例如,若某分量的频率为基频的2倍,则称它为二次谐波。

分谐波——复波的分量,其频率为基频的整分数。

波长——在各向同性的均匀媒质中,周期波的波长等于相位相差 2π 的两个波阵面之间的垂直距离。

倍频程——两个频率比为2的频率间隔。

1.2.1 棒振动

本书讨论的棒是无张力的棒,其回复力完全是由于劲度所引起的;棒是直的,截面均匀而且和中心面对称的。另外,在声波中会包含不同频率的单一正弦成分的复合声波。其中,频率最低的一个成分称为基频;而频率比基频高的所有分音称为泛音,依频率高低而分第一泛音、第二泛音等,泛音频率不必与基频成整数倍关系;而对复合声波中,如果频率与基声频率成整数倍关系,则称为谐音或谐波,通常基频称为第一谐波,基频两倍称为二次谐波等(图 1.1)。现分别对横向振动的各种情况进行讨论。

1. 一端夹紧、另一端自由的棒

一端夹紧、另一端自由的棒如图 1.1(a)所示,其基频为

$$f_1 = \frac{0.5596}{l^2} \sqrt{\frac{EK^2}{\rho}} \quad (1-5)$$

式中: l 为棒的长度(m); ρ 为密度(kg/m^3); E 为弹性模量(Pa); K 为回转半径(m)。

对于长方形截面,回转半径为

$$K = \frac{a}{\sqrt{12}}$$

式中: a 为棒沿振动方向的厚度(m)。

对于圆形截面:

$$K = a/2$$

式中: a 为棒的半径(m)。

对于中空的圆形截面,回转半径为

$$K = \sqrt{\frac{a^2 + a_1^2}{2}} \quad (1-6)$$

式中: a 为管的外半径(m); a_1 为管的内半径(m)。

2. 一端夹紧、另一端支起的棒

一端夹紧、另一端支起的棒如图 1.1(b)所示,其基频为

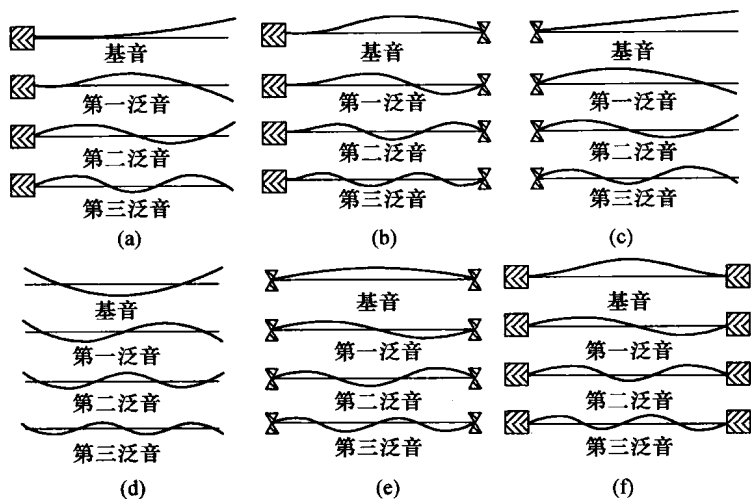


图 1.1 棒的横向振动方式

(a) 一端夹紧、另一端自由的棒；(b) 一端夹紧、另一端支起的棒；

(c) 一端支起、另一端自由的棒；(d) 两端自由的棒；

(e) 两端支起的棒；(f) 两端夹紧的棒。

$$f_1 = \frac{2.45}{l^2} \sqrt{\frac{EK^2}{\rho}} \quad (1-7)$$

3. 一端支起、另一端自由的棒

一端支起、另一端自由的棒如图 1.1(c)所示,其基频为零。第一泛音为

$$f_2 = \frac{2.45}{l^2} \sqrt{\frac{EK^2}{\rho}} \quad (1-8)$$

4. 两端自由的棒

两端自由的棒如图 1.1(d)所示,其基频为

$$f_1 = \frac{1.133\pi}{l^2} \sqrt{\frac{EK^2}{\rho}} \quad (1-9)$$

式中: l 为棒的长度(m);其他量与式(1-5)中相同。

5. 两端支起的棒

两端支起的棒如图 1.1(e)所示,其基频为

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{EK^2}{\rho}} \quad (1-10)$$

式中: l 为棒的长度(m);其他量和式(1-5)相同。

6. 两端夹紧的棒

两端夹紧的棒如图 1.1(f)所示,得到与两端完全自由的棒一样的音调。

7. 楔形肱棒

上面考虑的都是截面均匀的棒,本节的目的是给出楔形肱棒(简称楔形棒)的共振频率的公式。尤其是在硅传声器生产中,由于硅片的腐蚀不可能做到截面的均匀一致,所以本节对楔形棒作一些介绍。

振动方向垂直于楔子两个平行边的楔形棒如图 1.2(a)所示,其共振频率为

$$f = \frac{1.14}{l^2} \sqrt{\frac{Eb^2}{12\rho}} \quad (1-11)$$

式中: b 为沿振动方向的棒的厚度(cm)。

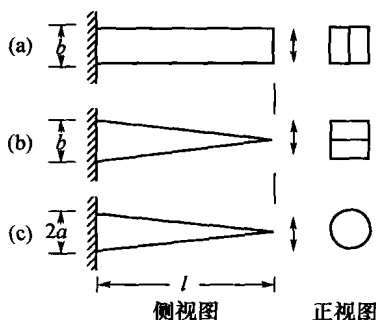


图 1.2 楔形棒

- (a) 振动方向垂直于楔子两个平行边的楔形棒; (b) 振动方向平行于楔子两个平行边的楔形棒; (c) 锥形棒。

振动方向平行于楔子两个平行边的楔形棒如图 1.2(b)所示,其共振频率为

$$f = \frac{0.85}{l^2} \sqrt{\frac{Eb^2}{12\rho}} \quad (1-12)$$

锥形棒如图 1.2(c)所示,其共振频率为

$$f = \frac{1.39}{l^2} \sqrt{\frac{Ea^2}{4\rho}} \quad (1-13)$$

式中: a 为锥底的半径(cm)。

1.2.2 张紧膜的振动

常见的微型电容传声器都是一个被张紧的膜的振动,由于需求不同,膜环的形状有圆形、方形、长方形等多种形式。假定理想的薄膜是柔软的,截面非常薄,在各个方向用不受薄膜振动影响的力来绷紧。本节将研究圆形、方形、长方形的绷紧的薄膜。

1. 圆形膜

绷紧的圆形膜的基频为

$$f_{01} = \frac{0.382}{R} \sqrt{\frac{T}{m}} \quad (1-14)$$

式中: m 为单位面积的质量 (kg/m^2); R 为膜的半径 (m); T 为张力 (N)。

基本的振动是以四周当作波节,最大的位移在圆的中心(图 1.3(a))。具有波节圆振动方式的两个相邻泛音的频率如图 1.3(b)和图 1.3(c)所示。图 1.3(d)~图 1.3(i)是这些波节图。在这些简单振动的形式之后是波节圆和波节直径的组合。

绷紧的圆形膜分析常用在电容传声器中,基频位于频率范围的上限。为了衰减基频附近的响应,膜上耦合有一阻力,该阻力是由作为固定电极的背板所引起的。

绷紧的圆形膜也用于各种类型的鼓上。这时,空气室和膜的特性控制着振动方式。