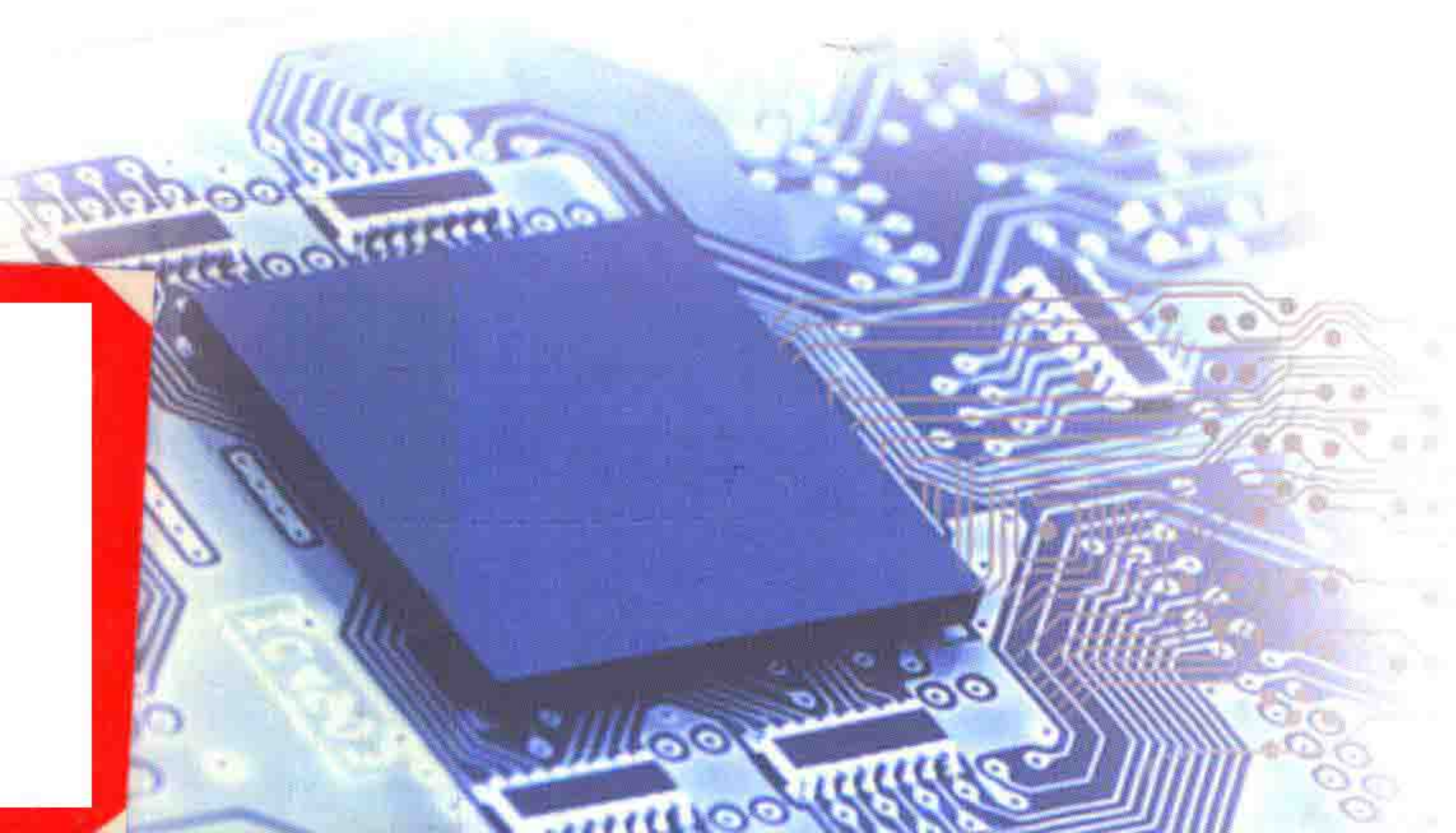
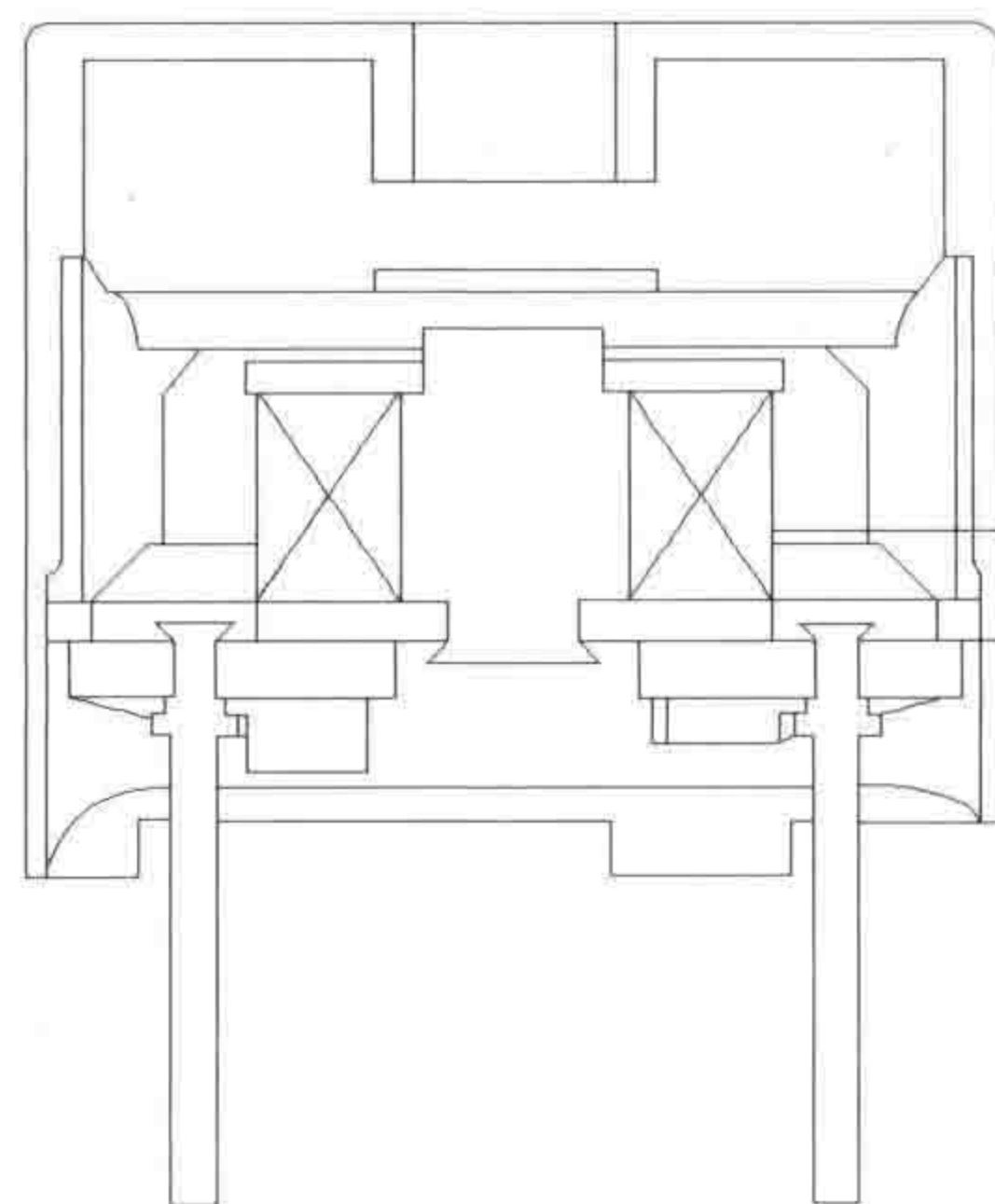


SHIYONG FENGMINGQI
YANZHI JISHU

实用蜂鸣器

研制技术

吴宗汉 林毓伦 沈一伟 ◎ 编

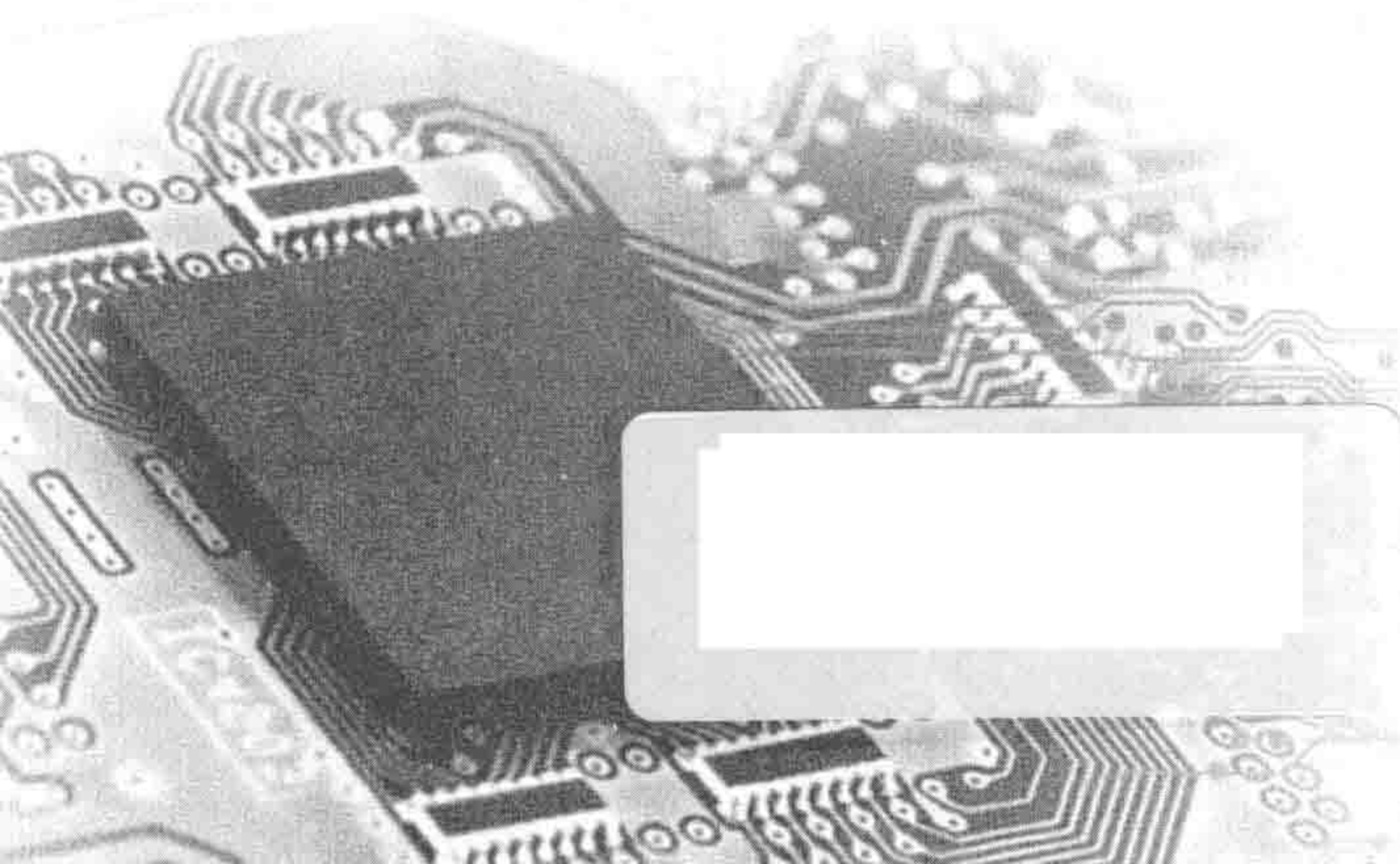
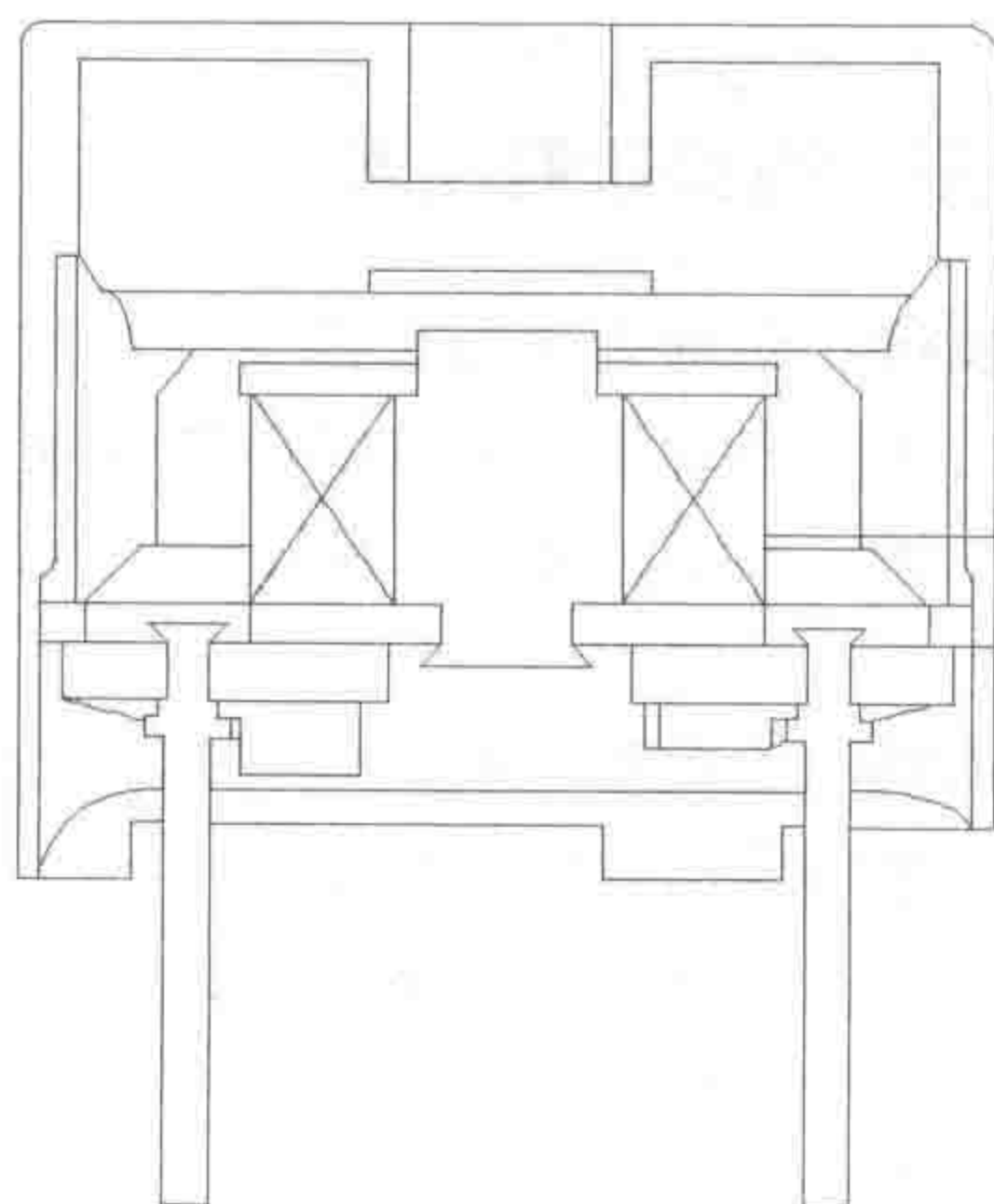


东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

SHIYONG FENGMINGQI
YANZHI JISHU

实用蜂鸣器 研制技术

吴宗汉 林毓伦 沈一伟 © 编



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是一部系统介绍蜂鸣器的书,蜂鸣器是一种电声换能器,它能发出蜂鸣声或窄频段的声音。蜂鸣器用途广泛,有不少读者,尤其是一些工程技术人员,希望了解蜂鸣器研制和使用中一些更为具体、深入的内容,为此出版了本书。本书共分五部分,即:蜂鸣器基础(蜂鸣器种类、蜂鸣器构造、蜂鸣器发声原理),蜂鸣器的研制(蜂鸣器的设计、蜂鸣器的生产、蜂鸣器的测量),蜂鸣器的材料,蜂鸣器应用实例以及相关专利及标准。

本书对正在研制、使用蜂鸣器的一线工程技术人员,以及高等院校中电声专业、通信专业和相关专业的学生有直接的指导意义。同时,也适用于有兴趣讨论蜂鸣器的人员。

图书在版编目(CIP)数据

实用蜂鸣器研制技术 / 吴宗汉, 林毓伦, 沈一伟编.

—南京:东南大学出版社,2017.4

ISBN 978-7-5641-7086-8

I. ①实… II. ①吴… ②林… ③沈… III. ①电声器件-研制 IV. ①TN64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 058693 号

实用蜂鸣器研制技术

出版发行 东南大学出版社
社 址 南京市玄武区四牌楼 2 号
网 址 <http://www.seupress.com>
出 版 人 江建中
责任编辑 姜晓乐(joy_suep@163.com)
经 销 全国各地新华书店
印 刷 兴化印刷有限责任公司

开 本 700 mm×1000 mm 1/16
印 张 9.25
字 数 200 千字
版 次 2017 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月第 1 次印刷
书 号 978-7-5641-7086-8
定 价 32.00 元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系,电话:025-83791830)

前 言

关于蜂鸣器,虽然大家都接触过但又总觉得它陌生,究其原因,其实是我们对之了解不甚全面。蜂鸣器是一种电声换能器,它能发出蜂鸣声或窄频段的聲音。蜂鸣器用途广泛,有不少读者,尤其是一些工程技术人员,希望了解蜂鸣器研制、使用中一些更为具体、深入的内容,有鉴于此,我们编写了这部系统介绍蜂鸣器的书。

本书分五部分,即:蜂鸣器基础(蜂鸣器种类、蜂鸣器构造、蜂鸣器发声原理);蜂鸣器的研制(蜂鸣器的设计、蜂鸣器的生产、蜂鸣器的测量);蜂鸣器的材料;蜂鸣器应用实例;并介绍了相关标准。

书中的内容曾作为讲座内容,在美特科技(苏州)有限公司、美律电子(深圳)有限公司讲解过,后来又在美律(深圳)公司和林毓伦经理等一起完成了全书的编写和修订工作。

本书写作中得到了很多专家、一线技术人员及相关企业领导的支持和帮助,在此特表感谢。他们是:美特科技(苏州)有限公司的林淑君总经理、李谋旦副总经理、徐世和副总经理;美律电子(深圳)有限公司的林士杰总经理、何鸿钧副总经理,以及多美科技的蒙圣杰总经理;豪恩声学的温志锋、朱纪文、朱彪、欧阳小禾等工程师,以及王超主任;南京大学声学研究所的林靖波教授;南京航空航天大学的林玮教授;兴化市的陆亚平、高杰先生;昆山日盛公司的姚斌总经理;深圳睿冠科技的朱建新总经理等。

吴宗汉
于石头城六朝松下

CONTENTS 目 录

1	蜂鸣器概述	(1)
1.1	蜂鸣器的种类	(1)
1.2	蜂鸣器的构造	(2)
1.3	蜂鸣器的发声原理	(4)
2	蜂鸣器的研制	(9)
2.1	蜂鸣器的设计	(9)
2.2	蜂鸣器的生产	(16)
2.3	蜂鸣器的测量	(20)
3	蜂鸣器的材料	(23)
3.1	压电材料	(23)
3.2	铁氧体材料	(29)
3.3	塑磁材料	(32)
3.4	胶粘材料	(32)
4	蜂鸣器应用实例	(34)
4.1	蜂鸣器编程的实验例程	(34)
4.2	不同型号、规格蜂鸣器的主要技术特性参数举例	(40)

5 蜂鸣器的发展及相关标准.....	(44)
5.1 蜂鸣器的发展	(44)
5.2 蜂鸣器相关标准	(47)
6 国内外部分蜂鸣器专利介绍.....	(79)
参考文献	(140)

1 蜂鸣器概述

1.1 蜂鸣器的种类

蜂鸣器是一种电声换能器,它能发出蜂鸣声或窄频段的声音。我们熟知的蜂鸣器按换能形式来分,可分为压电蜂鸣器和电磁蜂鸣器两大类。蜂鸣器广泛应用于一些需要引起人们注意或报时的装置和设备中,如门铃、电子表、电话机、微波炉、全自动洗衣机等门类广泛的电子仪器和设备中。

压电蜂鸣器是由压电发声元件和振荡电路组成的电声元件。它是由压电材料受外加电信号激励产生变形而发出蜂音的一种蜂鸣器。它又可分为压电晶体蜂鸣器和压电陶瓷蜂鸣器两种。前者由于压电晶体(如:酒石酸钾钠、磷酸氢二铵晶体等)防潮、耐温特性差,现已很少使用。而压电陶瓷蜂鸣器是用钛酸钡、锆钛酸铅、铌镁酸铅等压电陶瓷片和金属片粘贴成的圆形振动片,经振荡电路激励,产生振动而发出清晰的声音。蜂鸣器的电路图形符号:蜂鸣器在电路中用字母“H”或“HA”(旧标准用 FM、LB 或 JD 等)表示。

电磁蜂鸣器是利用恒磁场中的动导磁体受交变磁场的作用而发声的电声换能器。其交变磁场是在外加的交变电信号激励下产生的。其结构与电磁受话器类似。

根据封装形式的不同,蜂鸣器可分为 DIP BUZZER(插针式蜂鸣器)和 SMD BUZZER(贴片式蜂鸣器)。

蜂鸣器除了应用于上述的一些领域外,也在不断地向更多领域拓展,现在就有用于不同领域或与不同领域交叉发展形成的新结构的蜂鸣器,例如:负阻效应蜂鸣器、汽车倒车或转向闪光蜂鸣器、用于电冰箱的音乐蜂鸣器、单线供电制交直流电子闪光蜂鸣器、机动车闪光蜂鸣器、蜂鸣器可调声响装置、车辆电子闪光蜂鸣器、电淋浴器的蜂鸣器、交流蜂鸣器、微波炉的蜂鸣器、在线式断线防盗报警蜂鸣器、密封型电磁式蜂鸣器、多音调蜂鸣器、具有正负极识别结构的蜂鸣器、电子闪光蜂鸣器、炊具蜂鸣器、过滤器的蜂鸣器等。

1.2 蜂鸣器的构造

(1) 电磁式蜂鸣器的构造

电磁式蜂鸣器由振荡器、电磁线圈、磁铁、振动膜片及外壳等组成。电磁式蜂鸣器是利用恒磁场中的动导磁体受交变磁场的作用而发声的电声换能器。其交变磁场是在外加的交变电信号激励下产生的。其结构与电磁受话器类似。由磁回路、音圈、导磁体、振动膜片、外壳及亥姆霍兹共振腔等组成。它一般发出的是一个窄频段的聲音。接通电源后,振荡器产生的音频信号电流通过电磁线圈,使电磁线圈产生磁场。振动膜片在电磁线圈和磁铁的相互作用下,周期性地振动发声。根据驱动方式的原理不同,电磁式蜂鸣器分为有源蜂鸣器和无源蜂鸣器。有源的电磁式蜂鸣器(图 1-1)包含线圈 L_1 和 L_2 , L_1 产生驱动作用, L_2 具有反馈作用,如图 1-2 所示。当电流流经线圈 L_1 和隔膜开始震动,线圈 L_2 检测其振动,提供反馈给晶体管,使振荡与振动膜片同步。

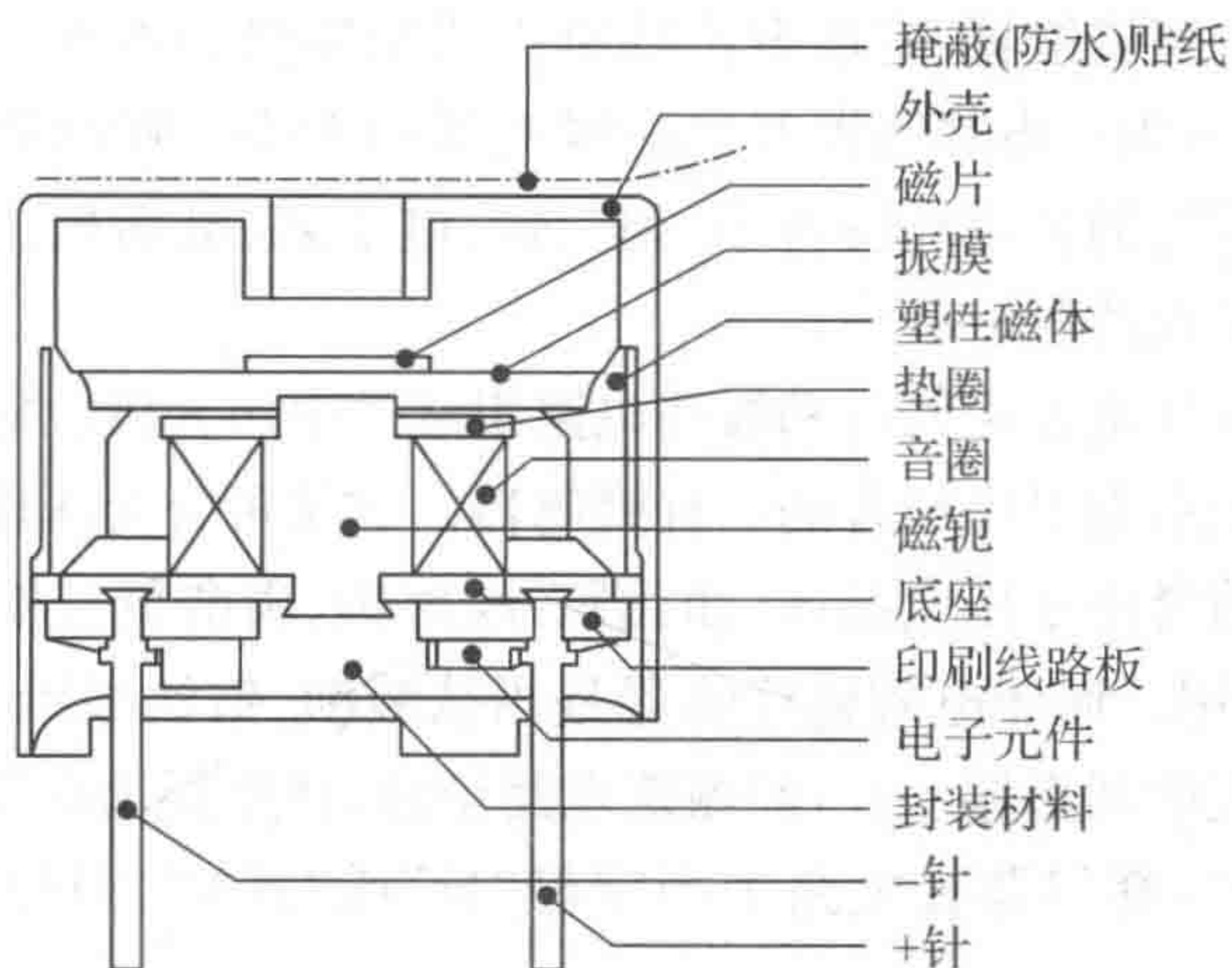


图 1-1 有源蜂鸣器结构图

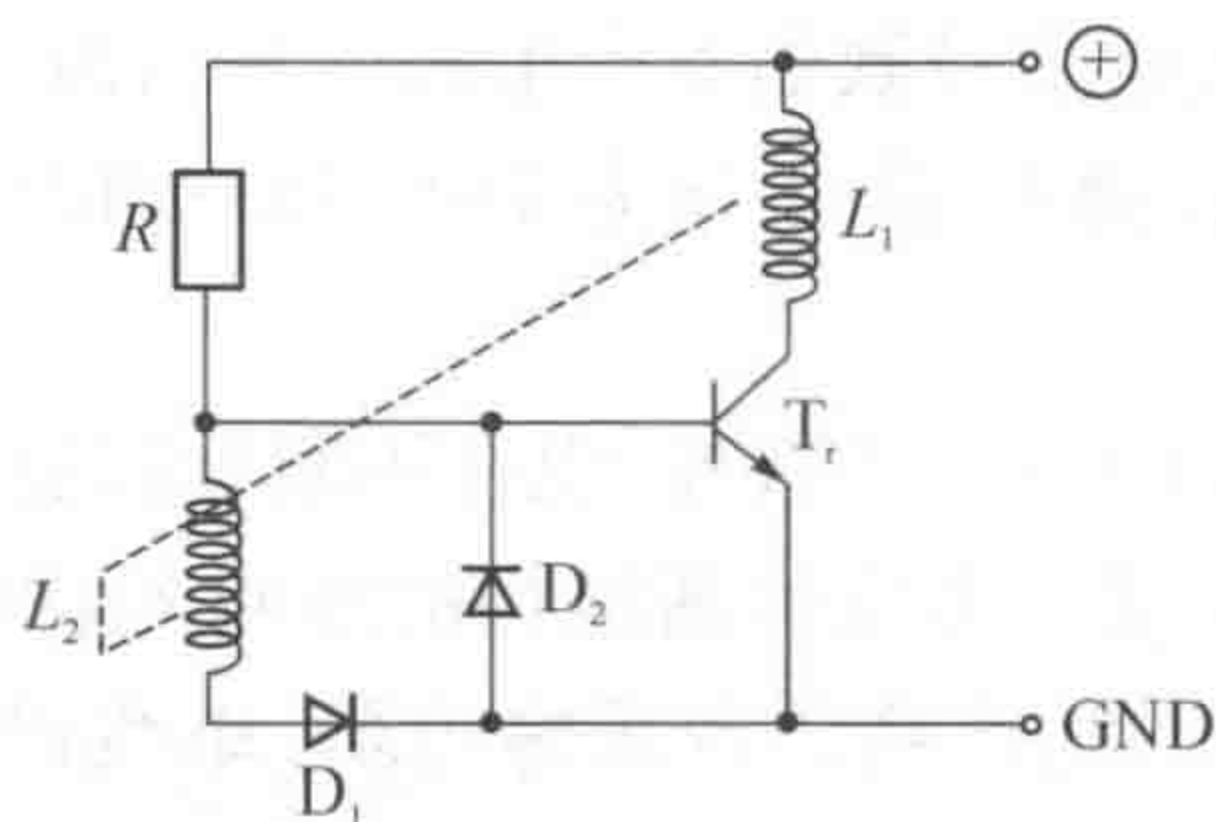


图 1-2 有源蜂鸣器电路原理图

这里的“源”不是指电源,而是指振荡源。也就是说,有源蜂鸣器内部带振荡源,所以只要一通电就会叫。而无源蜂鸣器内部不带振荡源,所以如果用直流信号无法令其

鸣叫,必须用 $2\sim 5\text{ k}\Omega$ 的方波去驱动它。有源蜂鸣器往往比无源的贵,就是因为里面多了个振荡电路。无源蜂鸣器的优点是:(1) 价格便宜;(2) 声音频率可控,可以做出“多来米发索拉西”的效果;(3) 在一些特例中,可以和 LED 复用一個控制口。有源蜂鸣器的优点是程序控制方便。

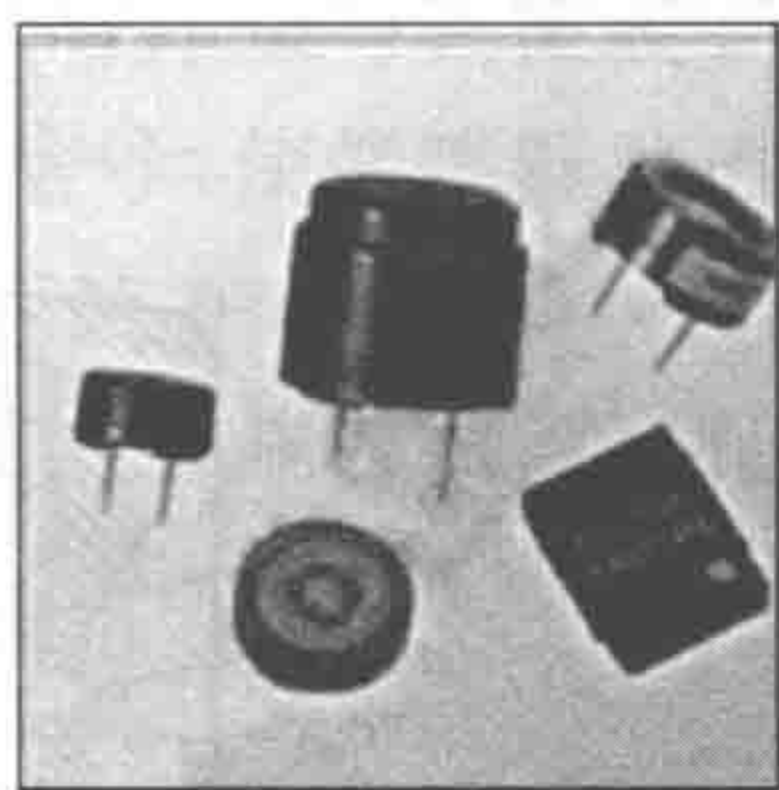
现在市场上出售的一种小型蜂鸣器因其体积小(直径只有 11 mm)、重量轻、价格低、结构牢靠,而广泛地应用在各种需要发声的电器设备、电子制作和单片机等电路中。

有源蜂鸣器和无源蜂鸣器仅从外观上来区分是非常困难的。该怎么判断是哪种蜂鸣器呢?

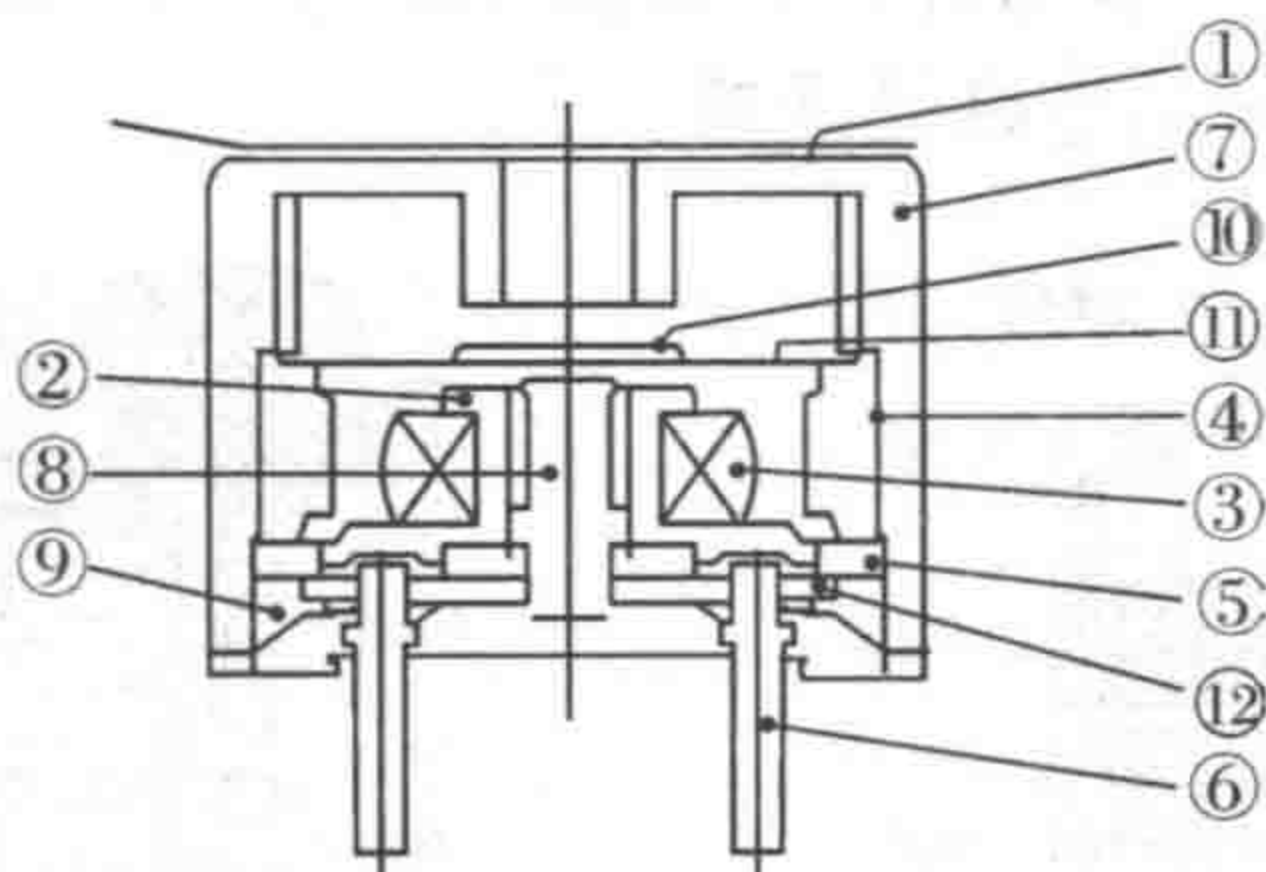
判断有源蜂鸣器和无源蜂鸣器,可以用万用表电阻挡 $R\times 1$ 挡测试:用黑表笔接蜂鸣器“+”引脚,红表笔在另一引脚上来回碰触,如果发出“咔、咔”声且电阻只有 $8\ \Omega$ (或 $16\ \Omega$),是无源蜂鸣器;如果能发出持续声音,且电阻在几百欧以上的,是有源蜂鸣器。有源蜂鸣器直接接上额定电源(新的蜂鸣器在标签上都有注明)就可连续发声;而无源蜂鸣器则和电磁扬声器一样,需要接在音频输出电路中才能发声。

(2) 压电式蜂鸣器的构造

压电式蜂鸣器主要由多谐振荡器、压电蜂鸣片、阻抗匹配器及共鸣腔、外壳等组成。有的压电式蜂鸣器外壳上还装有发光二极管。多谐振荡器由晶体管或集成电路构成。当接通电源后($1.5\sim 15\text{ V}$ 直流工作电压),多谐振荡器起振,输出 $1.5\sim 2.5\text{ kHz}$ 的音频信号,阻抗匹配器推动压电蜂鸣片发声。



(a) 电磁式蜂鸣器实物图



(b) 电磁式蜂鸣器结构示意图

电磁式蜂鸣器内部构成:

- 1—防水贴纸
- 2—线轴
- 3—线圈
- 4—磁铁

- 5—底座
- 6—引脚
- 7—外壳
- 8—铁芯

- 9—密封胶
- 10—小铁片
- 11—振动膜
- 12—电路板

图 1-3 电磁式蜂鸣器

常规磁性喇叭的原理与一般的蜂鸣器有所区别。一般的压电蜂鸣器是以压电陶瓷为主要元件,如图 1-4 所示。压电陶瓷是一类有将压力与电流相互转换能力的特殊陶瓷。这种能力缘于其特殊的晶体结构。当压电陶瓷在一定方向上受到一个压力使其晶

体结构发生形变时,它就会在内部产生一个电流,并且电流的变化与压力的变化密切相关,反之亦然。所以利用这一特性,在压电陶瓷上通过一定频率的电流,就会引起压电陶瓷微小形变,这一形变带动空气发生振动,如果频率适当,就可以被人耳所听见,也就是产生了蜂鸣声。

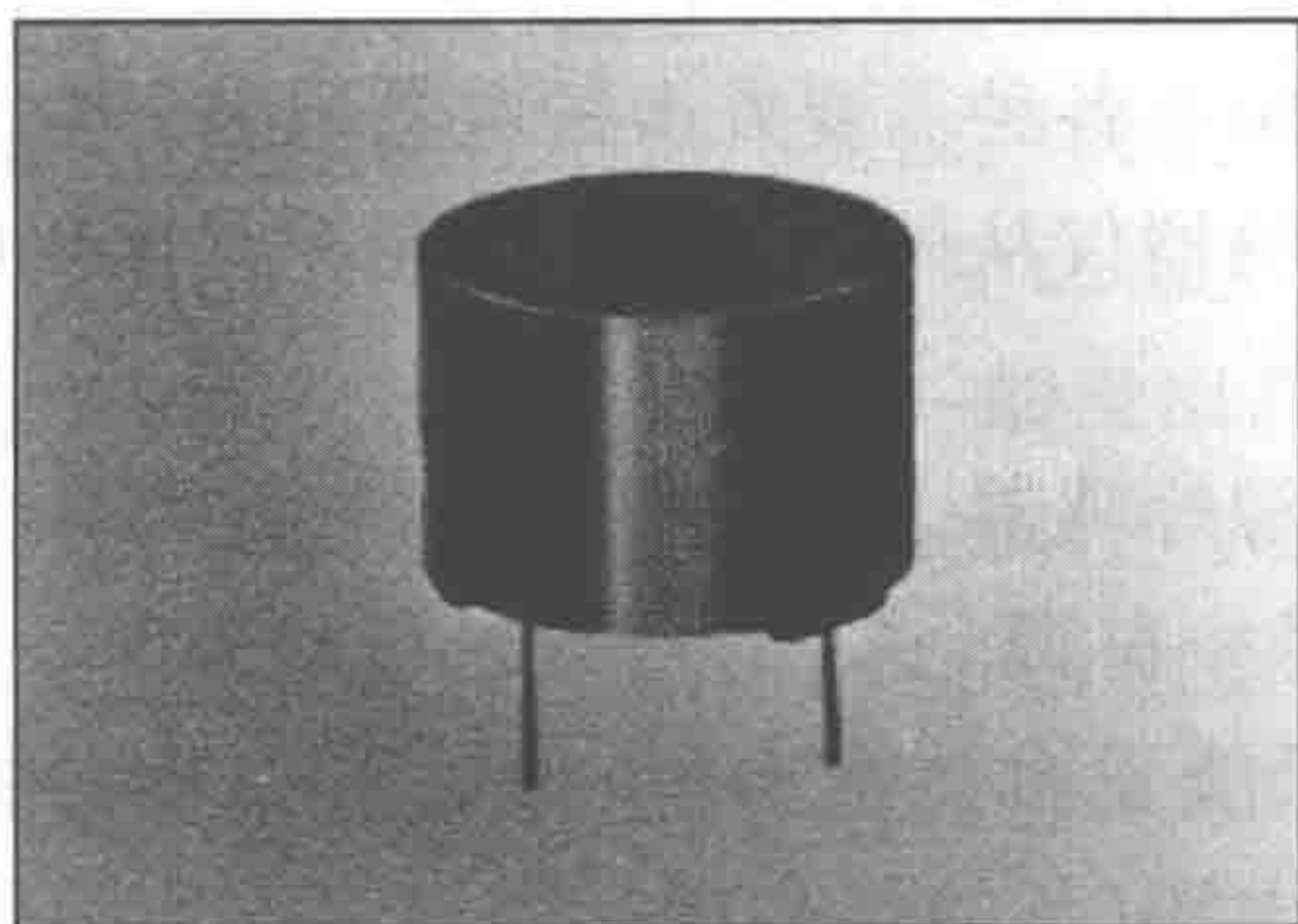


图 1-4 压电式蜂鸣器

1.3 蜂鸣器的发声原理

电磁式蜂鸣器是利用恒磁场中的动导磁体受交变磁场的作用而发声的电声换能器。其交变磁场是在外加的交变电信号激励下产生的。其结构与电磁受话器类似,如图 1-5 所示。通电时将金属振动膜吸下,不通电时依振动膜的弹力弹回,实际上它就是一个动铁式的电磁受话器。

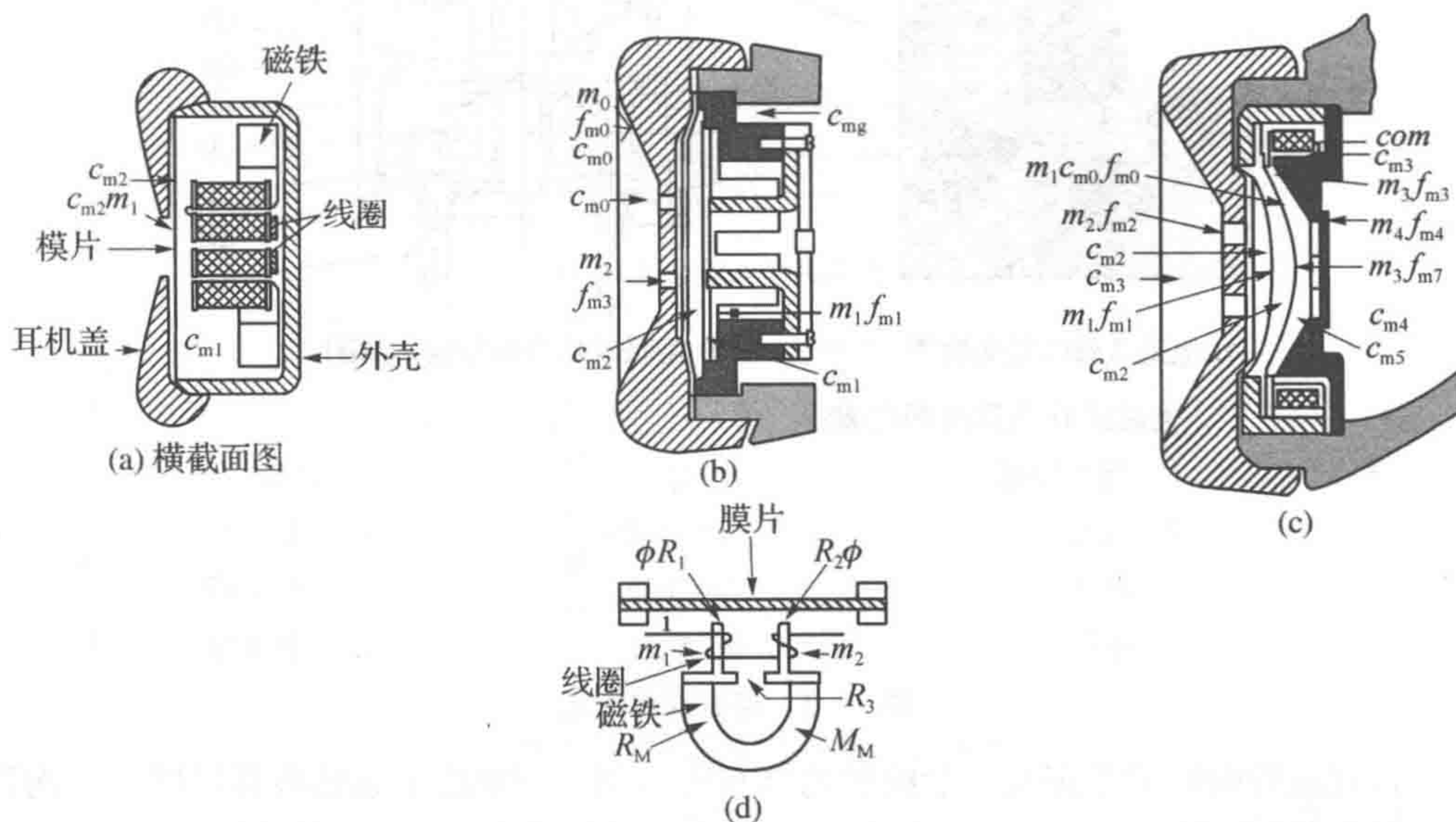


图 1-5 电磁式受话器结构图

因为压电式蜂鸣器是将高压加在粘贴于振动金属片并被极化后的压电陶瓷片上的,当加入交流电压后,由于压电效应,会产生机械变形(伸展或收缩),利用此特性使金属片振动而发出声响。以回授方式来做区分,压电蜂鸣片大致上分为回授式蜂鸣片(自激式)与无回授式蜂鸣片(外激式)两种。如图 1-6 所示,当回授式蜂鸣片搭配正回授振荡电路时,会产生一个与共振腔频率相同的单音;而无回授式蜂鸣片则可以搭配外部振荡电路,选择任意频率发出声音。

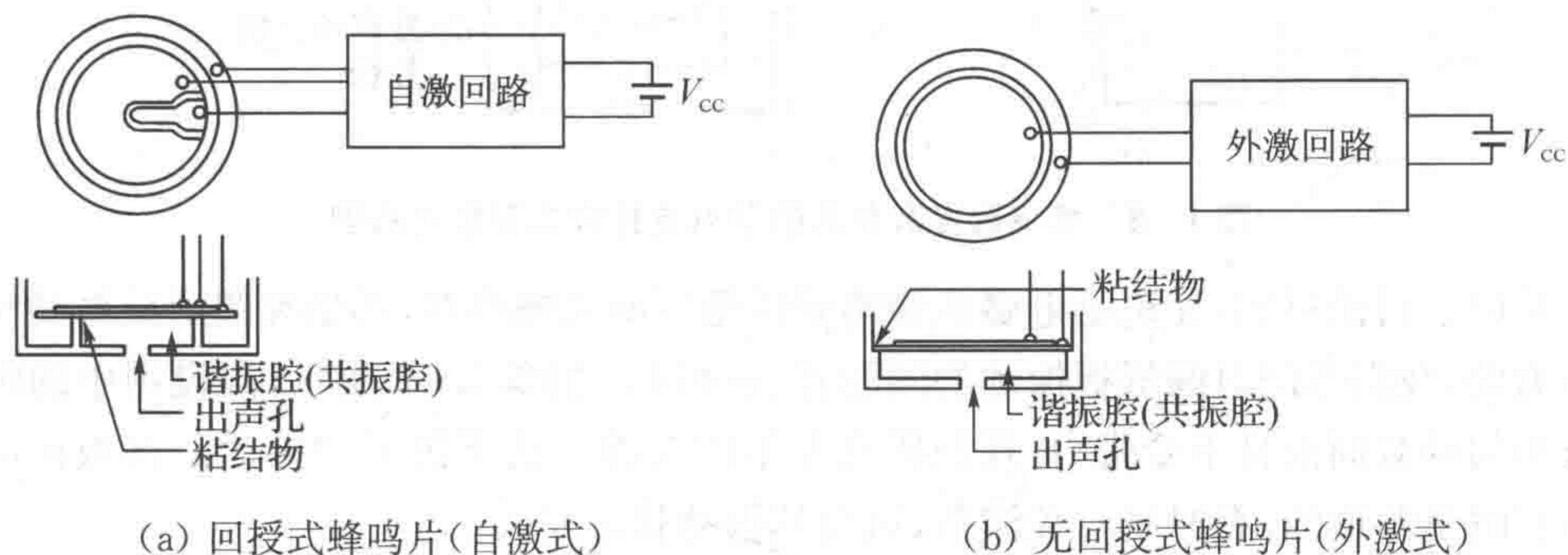


图 1-6 回授式和无回授式蜂鸣器示意图

以下为两种压电蜂鸣片的固定方式:

(1) 外围支持方式。将蜂鸣片外径边缘固定于共振腔内,一般采用无回授式蜂鸣片,而其蜂鸣片须与共振腔频率搭配,才会有较高的音压输出,并由外部振荡电路产生推动信号,使蜂鸣器发出声音。

(2) 节点支持方式。将蜂鸣片固定于约与陶瓷片直径同尺寸的环形结构内。若共振腔设计适当,并搭配频率正确的回授式蜂鸣片与正回授电路,将可产生较大音压及正确的频率,如图 1-7 和图 1-8 所示。

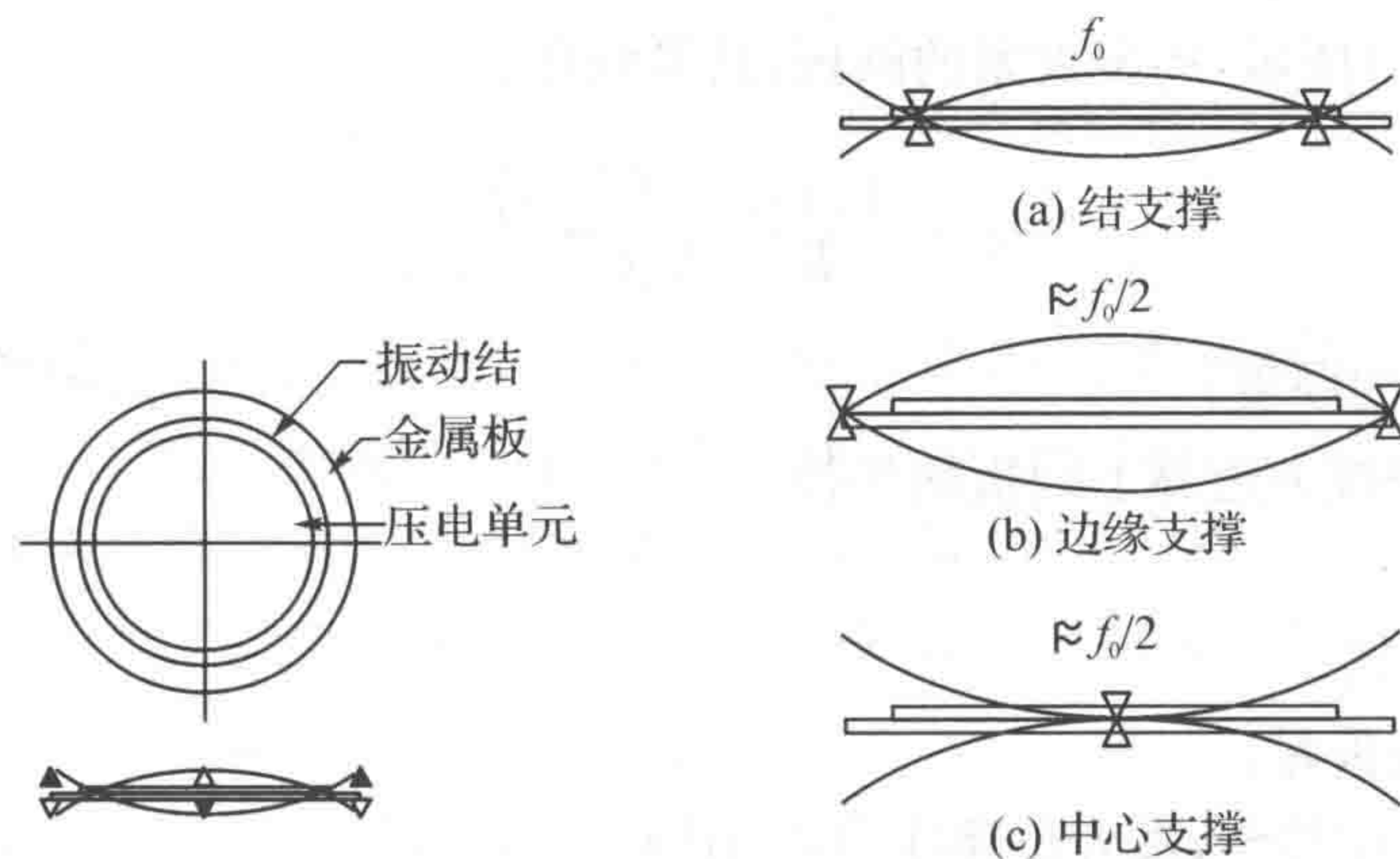


图 1-7 蜂鸣器发音单元的节点支持方式

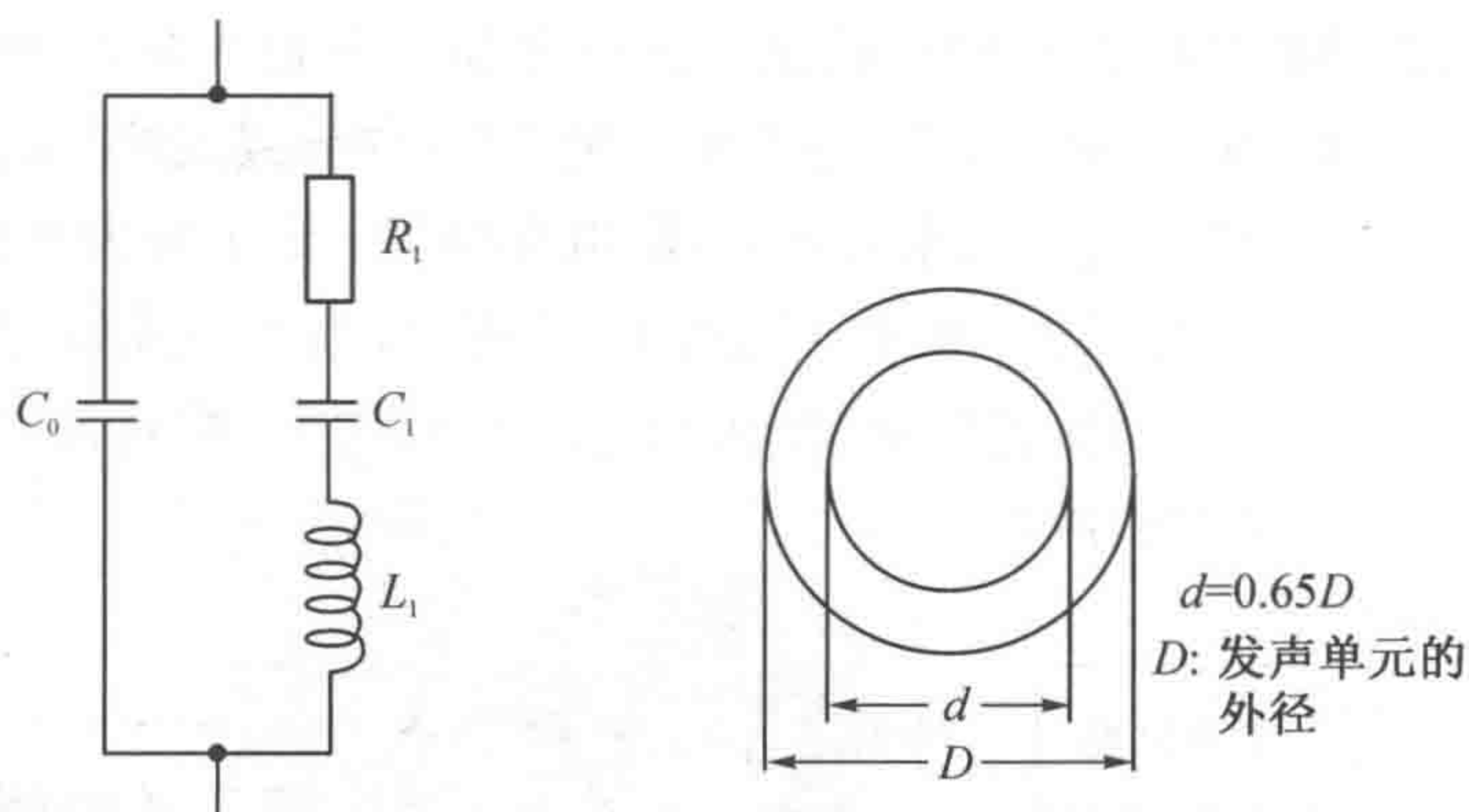


图 1-8 蜂鸣器发音单位的节点支持方式等效电路图

从以上讨论可知,无论是电磁式蜂鸣器还是压电式蜂鸣器,都是和圆形板振动相关的。为此,我们专门对圆形板振动的问题作些分析。如图 1-9 所示,假设图中的圆板具有均匀的截面而且不受张力,我们研究在不同支撑方法下圆板的振动。圆板振动的波节有时是圆形的,有时是直径波节,这与其振动状态相关。

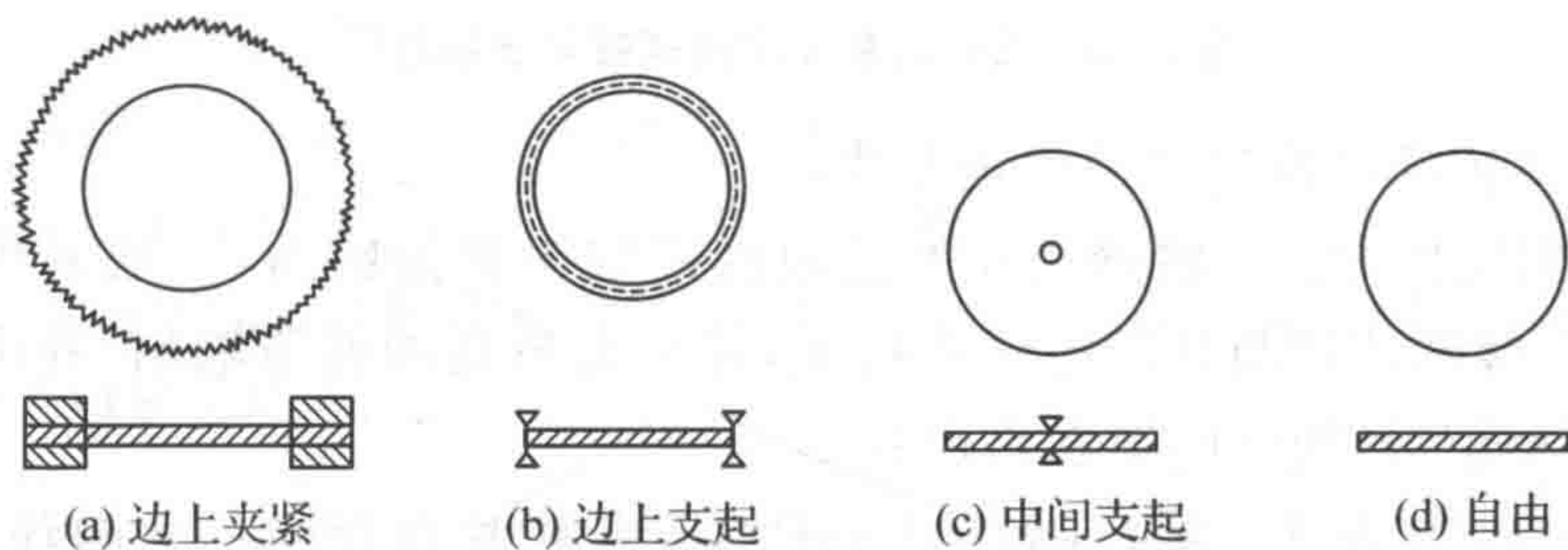


图 1-9 不同支撑圆形板蜂鸣器片的振动

(1) 夹紧的圆形板

如图 1-9(a)所示,周围夹紧的圆板,其基频是:

$$f_{01} = \frac{0.467t}{R^2} \sqrt{\frac{Q}{\rho(1-\sigma^2)}}$$

式中, t ——圆板的厚度;

R ——算到被夹边界上圆板的半径;

ρ ——密度;

σ ——泊松比;

Q ——杨氏模量。

基频以边界作波节,最大位移在中心(图 1-10(a))。

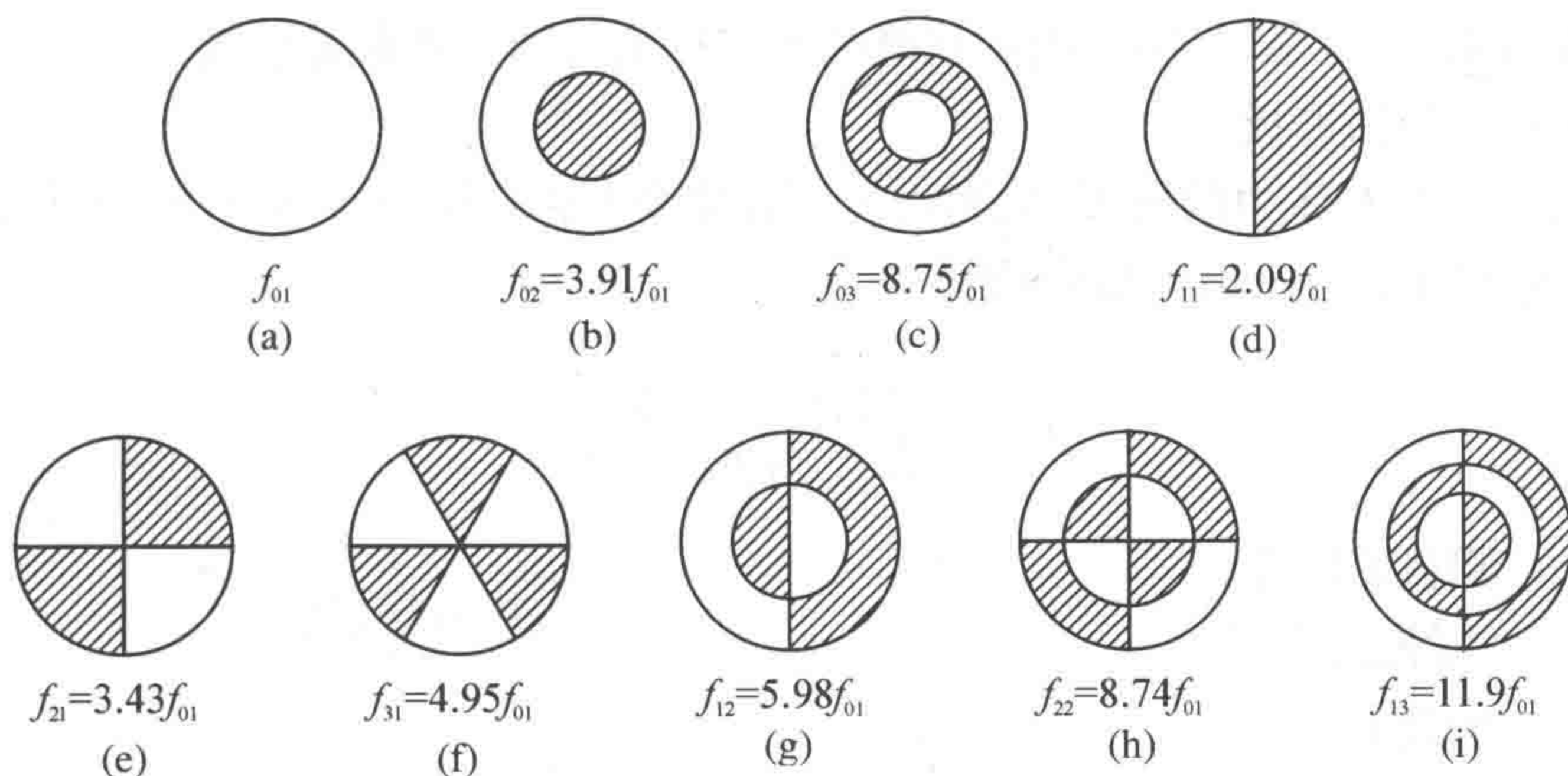


图 1-10 夹紧圆板的振动方式图

如图 1-10(b)和(c)所示,具有波节圆振动方式的两个相邻泛音的频率是:

$$f_{02} = 3.91f_{01} \quad f_{03} = 8.75f_{01}$$

具有波节直径振动方式的第一、第二、第三泛音的频率是:

$$f_{11} = 2.09f_{01} \quad f_{21} = 3.43f_{01} \quad f_{31} = 4.95f_{01}$$

这些波节都表示在图 1-10(d)、(e)、(f)中。

在这些振动的简单形式之后是波节圆和波节直径的组合。图 1-10(g)所示为具有一个波节圆和一个波节直径振动方式的频率:

$$f_{12} = 5.98f_{01}$$

如图 1-10(h)所示,为具有一个波节圆和两个波节直径振动方式的频率:

$$f_{22} = 8.74f_{01}$$

如图 1-10(i)所示,为具有两个波节圆和一个波节直径振动方式的频率:

$$f_{13} = 11.9f_{01}$$

夹紧的圆板用在电磁式受话器上,振膜用作衔铁,也用在炭粒传声器里,还能用在电容式水听器 and 电磁式水下扬声器里。夹紧的板状膜片也用在微型电容传声器里。板状膜片的缺点在于薄板固定困难,一方面为了高灵敏度,单位面积内的质量要小,另一方面又要有足够的劲度来产生较高的频率。但是,无论是电磁式蜂鸣器还是压电式蜂鸣器都是和圆形板振动相关的。

在应用夹紧的膜片时,如果该系统利用集总的元件来表示,就需要用中心的速度来计算膜片的有效质量和有效面积。在这种情况下,膜片的有效质量或有效面积是膜片的总质量和总面积的 $1/3$,确定膜片上的水或空气的负载,可假设等效活塞的有效半径

为膜片半径的 0.55 倍。不过,电磁式蜂鸣器和压电式蜂鸣器都是空气负载。

(2) 自由的圆形板

考虑一个没有张力的圆板,截面均匀而且完全自由(图 1-9(d)),对于具有波节圆的振动,例如图 1-10(b),其频率是:

$$f = \frac{0.412t}{R^2} \sqrt{\frac{Q}{\rho(1-\sigma^2)}}$$

式中, t ——圆板的厚度;

R ——圆板的半径;

ρ ——密度;

σ ——泊松比;

Q ——杨氏模量。

对于一个具有两个波节的直径振动,其频率是:

$$f = \frac{0.193t}{R^2} \sqrt{\frac{Q}{\rho(1-\sigma^2)}}$$

(3) 在中心支起的圆形板

考虑一个没有张力的圆板,截面均匀,边上完全自由,在中心支起(图 1-9(c)),其伞形振动方式的频率是:

$$f = \frac{0.172t}{R^2} \sqrt{\frac{Q}{\rho(1-\sigma^2)}}$$

(4) 在边上支起的圆形板

考虑一个没有张力的圆形板,截面均匀,边上简单地支在圆周上,如图 1-9(b)所示。其频率是:

$$f = \frac{0.233t}{R^2} \sqrt{\frac{Q}{\rho(1-\sigma^2)}}$$

为使电磁式蜂鸣器振动板振动,需要一定的驱动电压,电磁式蜂鸣器是以 1/2 方波(V_{orp})驱动而振动发声的。要保证蜂鸣器正常工作,则应有一定的额定工作电压,这是可正常工作的适用电压范围,但这并不保证低于额定工作电压时,仍能达到最低音压。正常发声后,持续的消耗电流较小,而启动瞬间需要的电流则较大,一般至少是持续消耗电流的三倍。声输出则是施加以额定的电压,1/2 方波后,以分贝表在距离 10 cm 处测得的。蜂鸣器每一个频率都仍有声音,额定频率则是指建议使用的最大且声压一致性较好的频点。压电片也可以是条状的,固定方式可以是两端固定的,也可以是自由无约束地贴在基板上的。而基片可以是金属薄板,也可以是塑料板(膜)。这在压电扬声器中常用。

2 蜂鸣器的研制

2.1 蜂鸣器的设计

(1) 振动装置的设计

① 振动片的设计

从上一章的讨论可知,无论是电磁式蜂鸣器还是压电蜂鸣器都是和圆形板振动相关的。圆形板振动的波节有时是圆形的,有时是直径波节,这与其振动状态相关,我们选择了一定的支撑方法后,就可以用上一章的方法,再结合圆板的参数(直径、厚度、镀层直径等),确定振动片的尺寸及支撑方法。

② 振动片驱动线圈的设计

振动片驱动线圈有电流通过时,振动装置会因电磁作用,而使振动片位置发生变化,从而产生振动,振动时会发出声音。但是,电流产生的电磁能量实际很小,很难驱动振动片正常工作,所以要利用另外一个磁场叠加到原有磁场上以产生控制作用,实际上这个磁场的磁能量的作用是为了获取机械顺性。使叠加后磁能量对振动片的磁引力增大,迫使振动片移位,压缩空气,发出声音;振动片以线圈方向单向移位振动,振动次数受信号频率控制,振幅与输入功率大小成正比。

上一章介绍了压电蜂鸣器振动板振动应由驱动电压来驱动。图 2-1 给出了压电蜂鸣器的结构及驱动的设计表示图形,并对驱动线圈中的驱动电压的设计作了说明。

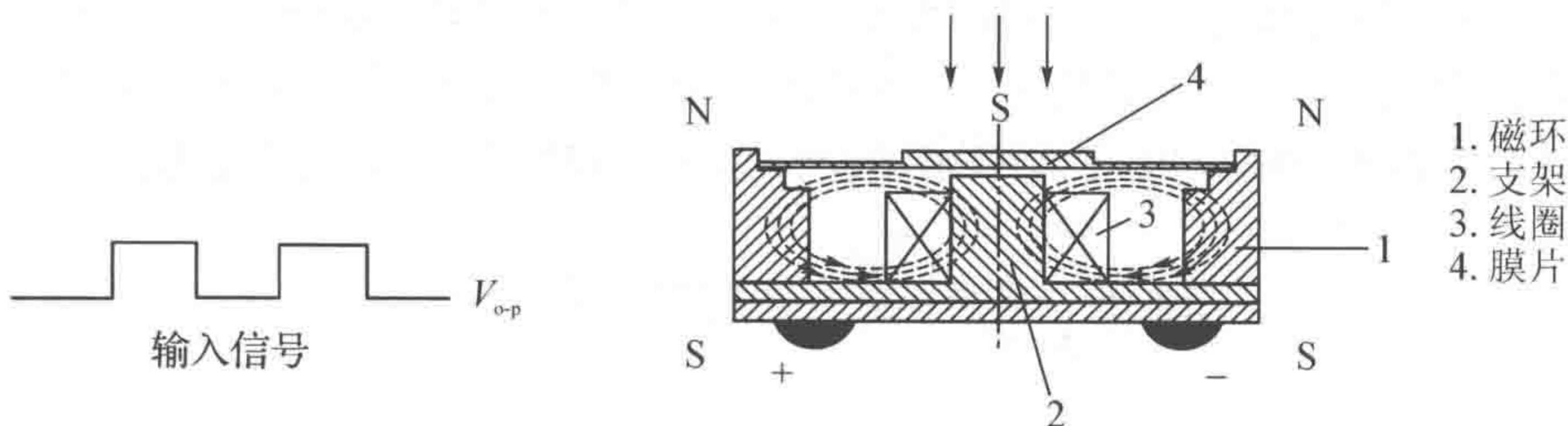


图 2-1 压电蜂鸣器结构及驱动

(2) 谐振装置的设计

在谐振装置的设计中,我们将谐振腔视为一个亥姆霍兹共鸣器(图 2-2),所谓亥姆霍兹共鸣器是一个由截面积为 S 、长为 l 的管子与体积为 V 的空腔连通而成。它也可用相应的等效电学模型描述,如图 2-3 所示。

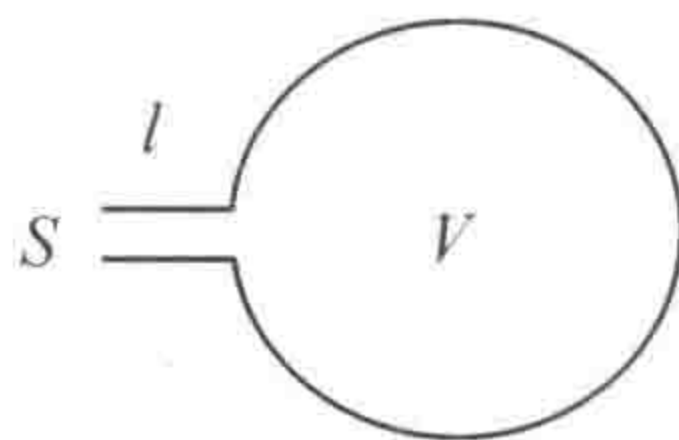


图 2-2 亥姆霍兹共鸣器模型

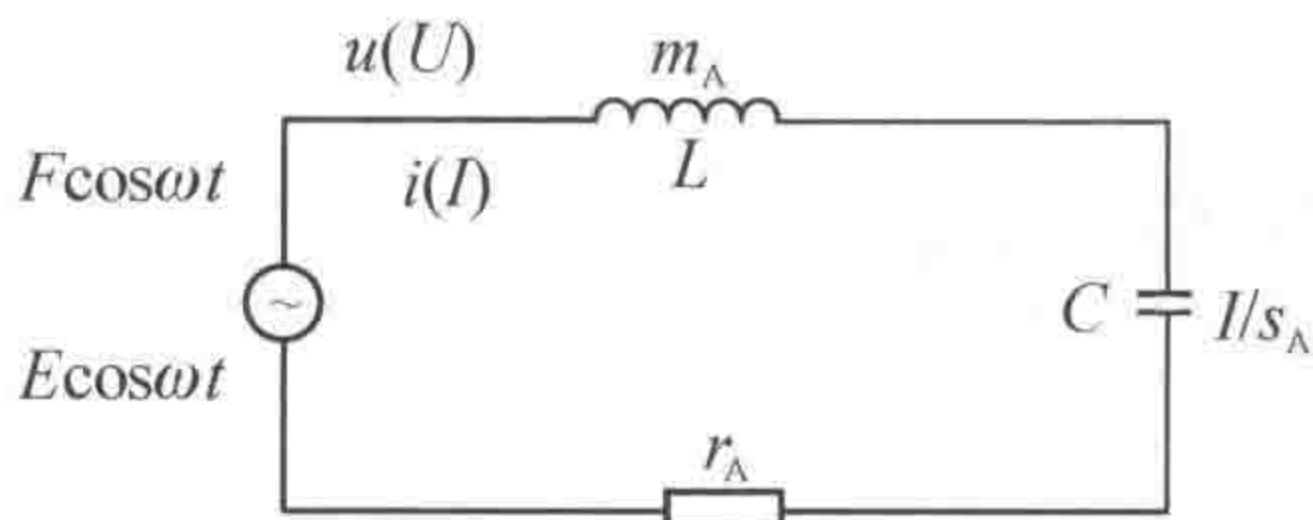


图 2-3 亥姆霍兹共鸣器等效电学模型

$$m_A \frac{du}{dt} + r_A u + s_A \int u dt = P \cos \omega t$$

上述式中带有脚标“A”的,表示该量为声学量,如:声阻、声容、声质量等,其中 u 为瞬时体积速度, U 为体积速度。则:

$$U = \frac{P}{r_A + j(\omega m_A - s_A/\omega)} = \frac{P}{Z_A}$$

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s_A}{m_A}}$$

若将电—力—声的相应参量进行比较,则可用图 2-4 表示。

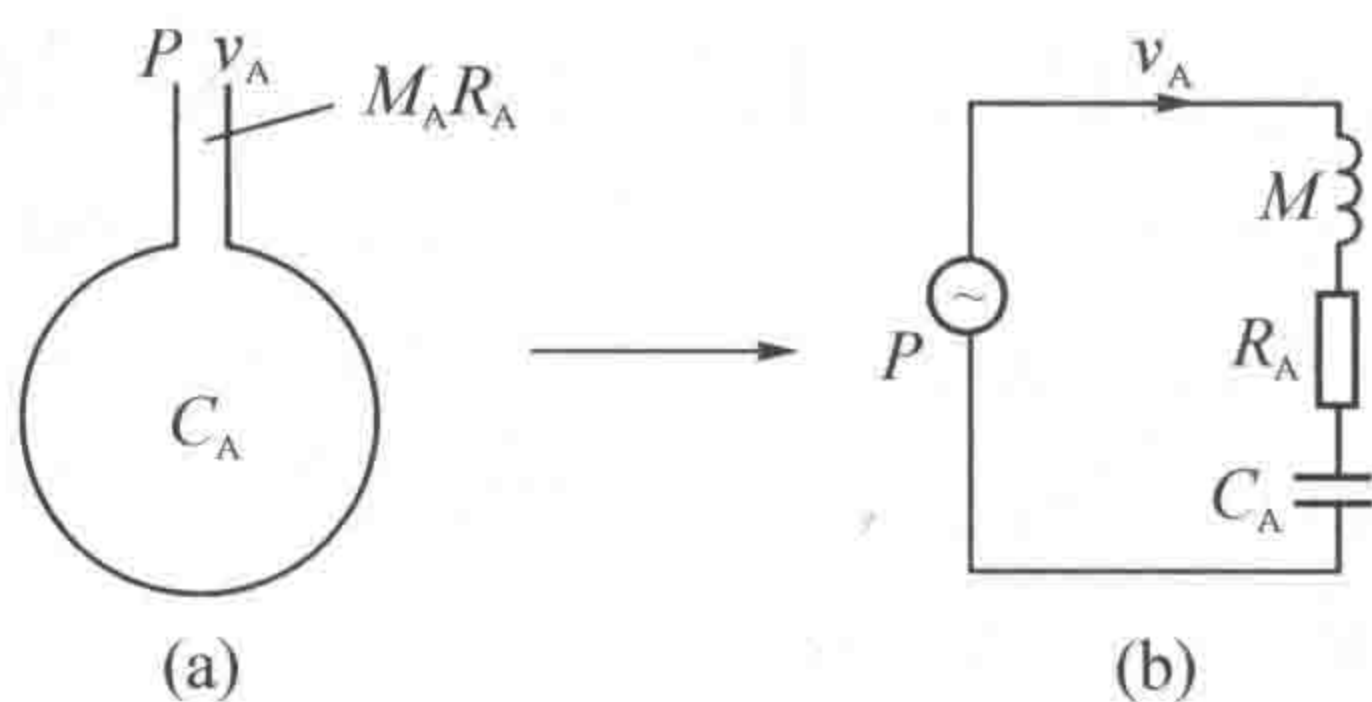


图 2-4 亥姆霍兹共鸣器等效电—力—声模型

在谐振装置的设计中,我们将谐振腔视为一个亥姆霍兹共鸣器(图 2-2),其与振动部分连接处的压强为 P ,体积速度为 v_A ,声质量为 M_A ,声阻为 R_A ,谐振腔声容为 C_A ,声劲为 s_A ,声阻抗中的声抗部分为 Z_A ,短管截面积为 S ,短管管长为 l 。体积速度为:

$$v_A = \frac{P}{R_A + j\left(\omega M_A - \frac{s_A}{\omega}\right)} = \frac{P}{Z_A} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

谐振腔的共振频率 f_0 即声阻抗中的声抗部分(Z_A)为零时的频率。即:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s_A}{M_A}} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{lV_A}}$$

谐振腔空腔内的声压为:

$$P_c = \frac{s_A v_A}{j\omega} = \frac{P}{\left(1 - \frac{\omega^2 M_A}{s_A}\right) + j\omega \frac{R_A}{s_A}} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

若将电—力—声的相应参量进行比较,它与电路中的 E_c 相对应,相当于电容 C_A 两端的电压:

$$E_c = \frac{1}{j\omega C_A}$$

上述的两个讨论是完全相同的,一般只需用其一即可。而实用中,谐振腔的大小(即谐振腔电容的大小)则是重要的参量。

因振动能量的传递是由磁力完成的,所以振动片与磁极间的距离设计有限(约 0.1~0.2 mm)。振动片振幅小(0.05 mm 左右),发出的声音很低,所以要用一个谐振腔对振动声音充分共振(谐振),以达共鸣效果(扩大声音);由于谐振腔对频率响应要求相对较严格,所以谐振频幅较窄,频率响应变动范围较小。根据产品规格,将谐振腔设计成前后谐振腔(图 2-5),前后谐振腔体积比约 1:2(以 2.4 kHz 为例);前后谐振腔体积大小与谐振频率高低成反比。

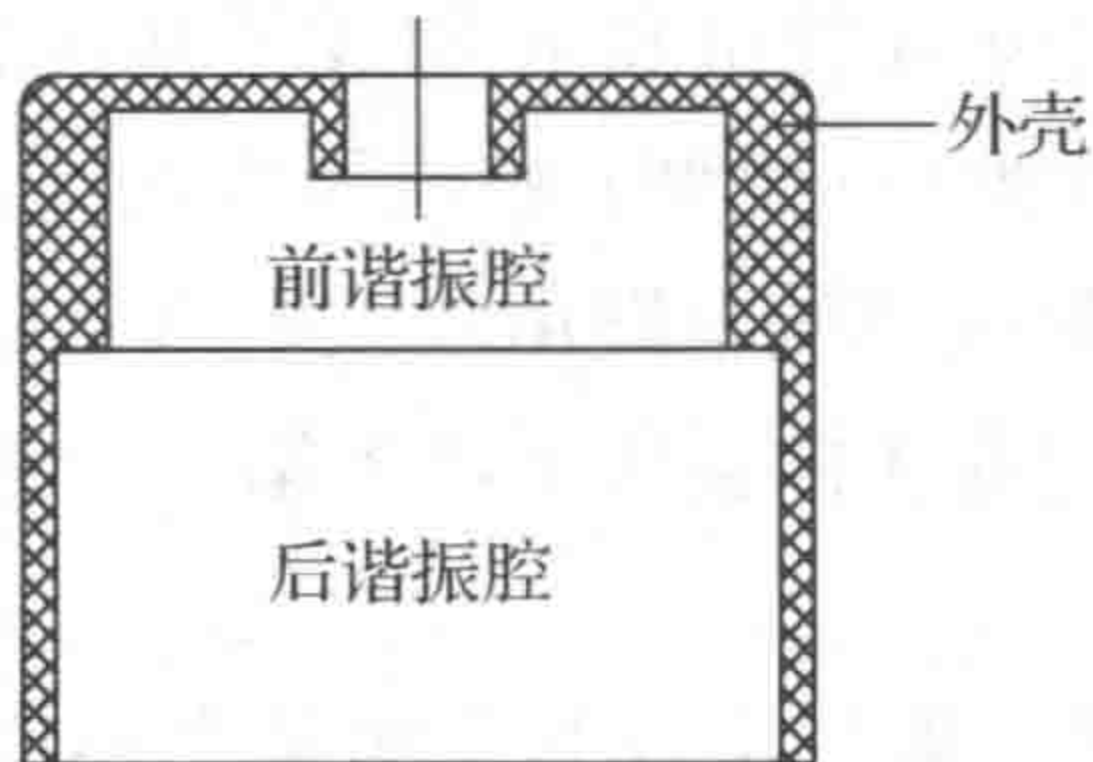


图 2-5 谐振系统

后谐振腔可以设计成后谐振腔开放型,也可以设计成后谐振腔密封型。

(3) 振动电路系统的设计

蜂鸣器分为无源型和有源型;而无源型又有它激和自激之分。现以无源型(它激型)为例来分析,图 2-6 是无源(它激型)后谐振腔开放型蜂鸣器的工作电原理图。

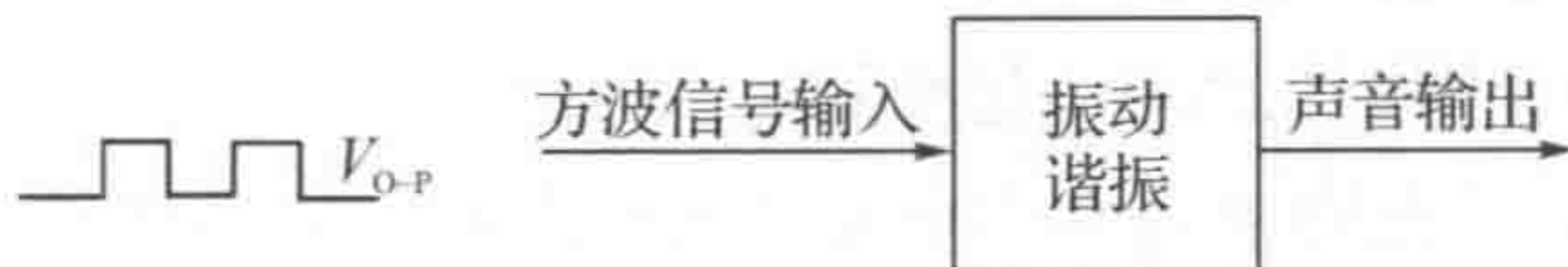


图 2-6 它激型电原理图