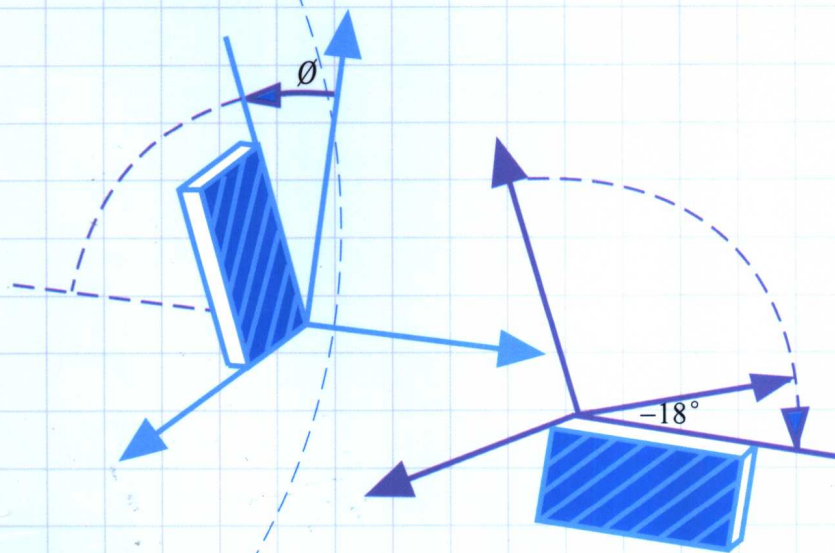


P *Transducers*
piezoelectric and Arrays

压电换能器和换能器阵

(修订版)

栾桂冬 张金铎 王仁乾 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

压电换能器和换能器阵

(修订版)

栾桂冬 张金铎 王仁乾 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

压电换能器和换能器阵/栾桂冬,张金铎,王仁乾编著. —修订版. —北京:北京大学出版社, 2005. 7

ISBN 7-301-08294-0

I. 压… I. ①栾… ②张… ③王… III. 压电换能器 IV. TN712

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 120803 号

书 名: 压电换能器和换能器阵(修订版)

著作责任者: 栾桂冬 张金铎 王仁乾 编著

责任编辑: 王 艳 孙 琰

标准书号: ISBN 7-301-08294-0/TB·0001

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn> 电子信箱: zpup@pup.pku.edu.cn

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 理科编辑部 62752021

印 刷 者: 北京大学印刷厂

经 销 者: 新华书店

730mm×980mm 16 开本 31 印张 590 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 0001—3000 册

定 价: 40.00 元

内 容 简 介

本书内容由浅入深,着重阐明压电换能器和换能器阵的基础理论,对换能器和换能器阵中所涉及的重要问题作了重点讨论,并概述了发展动态.

全书共十五章.第一章为引言;第二、三、四章为压电换能器的基础知识;第五、六、七、八章介绍了几种常见的典型压电换能器;第九章介绍压电换能器的暂态效应;第十章介绍几种新型换能器;第十一章讨论了压电弹性体的数值分析方法;第十二章介绍了换能器主要参数的测量方法;第十三章为换能器阵的理论基础;第十四、十五章介绍了均匀和非均匀换能器阵;第十六章简要介绍了几种新型换能器阵.

本书可作为高等院校声学专业换能器和换能器阵课程的教材,亦可供从事声学研究及其他有关专业的大专院校教师及工程技术人员参考.

序

换能器(或称换能元件)是现代应用科学中有广泛用途的元件,用它可以将一种形式的能(含信息或不含信息)转换为另一种形式的能,以便加工处理和应用.

换能器有多种不同的类型,如声光、光电、热电等,但本书所讨论的是压电换能器及用它形成的阵.压电换能器是利用某些材料的压电效应做成的换能器,它可以把声能转换为电能或反过来把电能转换为声能,使它在媒质中传播,以输送信息或获取有关该媒质的信息.在应用中,常把多个压电换能器形成阵以获得某种特殊效果.压电换能器和换能器阵广泛用于声学领域中各个分支学科,是声学和声学技术研究与应用中的重要元件.

众所熟知,声学是一门渗透性很强的学科.很多学科中应用了声学的原理或技术,如医学中的超声成像、材料科学中的无损评价、农业中对某些种子的处理等.近年来,随着科学技术的进步,声学各个分支迅速发展.声学的发展特别是声学技术的发展需要换能器,因而对压电换能器的研制提出了更高的要求.

在此书的写作过程中,除与作者讨论一些内容及内容的安排外,我还详细地阅读了各个章节,并征询学过该课学生的意见.据此,我认为该书比较系统地阐明了压电换能器及换能器阵的基本理论,具有一定的学术水平和实用价值,适合大学本科三、四年级学生及从事声学研究的工作者使用或参考.它填补了这方面教材或参考书的不足.

杜连耀

1987年7月15日

写于北京大学

编者的话

本书是根据作者多年来讲授“换能器和换能器阵”课程的讲义修改补充而成的,内容的叙述力图由浅入深,循序渐进.书中侧重讲解基本概念和基础理论,以便初学者易于理解和掌握.依据换能器和换能器阵的应用和研究的需要,对其中的主要问题作了重点讨论,读者若有兴趣进一步从事较深入的研究,可参阅每章后的有关参考文献.

全书分上、下两册,共十五章.上册包括第一章至第九章,下册包括第十章至第十五章.第一章引言叙述了换能器的地位、作用和发展简况.第二章讨论了由于晶体的各向异性对介电性、弹性和压电性带来的影响.第三章叙述了评价压电材料的主要参数,从发展的角度介绍了常用的几种压电材料和新型压电材料.第四章详细推导了压电陶瓷常用振动模梅森等效电路.第五章至第八章讨论了几种常用的典型压电换能器,推导了它们的等效电路和主要参数的表达式.第九章介绍了压电换能器的暂态效应.第十章讨论了用有限差分法和有限元法处理压电弹性振动体问题.第十一章介绍了当前常用的换能器主要参数的测量方法.第十二章是换能器阵的理论基础.第十三章介绍了几种典型的均匀换能器阵,推导了指向性函数和主要参数的表达式.第十四章讨论了非均匀阵的处理和设计方法.第十五章简介几种新型换能器阵.

本书第一章、第二章(其中部分节段由张金铎同志起草)、第三、四、五、六、七章和第九章由栾桂冬同志编写,第八章、第十章和第十一章由张金铎同志编写,第十二、十三、十四和第十五章由王仁乾同志编写.本书特聘请杜连耀教授审稿.

由于换能器的研究内容涉及的面很广,要在有限的篇幅内论及换能器研究中所有问题是困难的,本书仅侧重于基础理论的阐述和重点问题的讨论.由于作者水平所限和时间仓促,错误不足之处在所难免,欢迎读者批评指正.

编者

1987年7月30日

于北京大学

目 录

第一章 引言	(1)
第二章 晶体的物理性质	(5)
§ 2.1 晶体的特征	(5)
§ 2.2 晶体的宏观对称性	(7)
2.2.1 对称要素和对称操作	(7)
2.2.2 晶体的 32 种宏观对称型和国际符号	(9)
2.2.3 晶体定向和结晶符号	(12)
2.2.4 晶片定向标准	(20)
§ 2.3 晶体的物理性质	(23)
2.3.1 晶体的介电性	(23)
2.3.2 晶体的弹性	(25)
2.3.3 晶体的压电性	(32)
2.3.4 晶体的铁电性	(35)
2.3.5 压电方程	(40)
§ 2.4 坐标变换	(49)
2.4.1 张量变换法	(49)
2.4.2 矩阵变换法	(56)
2.4.3 任意切割晶片的电弹常数的变化	(66)
2.4.4 各种压电晶体的常数矩阵	(68)
参考文献	(72)
第三章 压电材料	(73)
§ 3.1 压电材料的重要参数	(73)
3.1.1 弹性常数、介电常数和压电常数	(74)
3.1.2 机电耦合系数	(75)
3.1.3 介质损耗因子和电学品质因数	(75)
3.1.4 机械损耗因子和机械品质因数	(77)
3.1.5 频率常数	(78)
3.1.6 老化率	(78)
3.1.7 温度稳定性和居里点	(79)

3.1.8	电退极化	(81)
3.1.9	额定动态抗张强度	(81)
3.1.10	高静态应力对材料性能的影响	(81)
§ 3.2	压电单晶体	(84)
3.2.1	压电石英晶体	(84)
3.2.2	铌酸锂	(87)
3.2.3	罗谢耳盐	(88)
3.2.4	磷酸二氢铵晶体	(89)
§ 3.3	压电陶瓷	(89)
3.3.1	钛酸钡压电陶瓷	(90)
3.3.2	锆钛酸铅压电陶瓷	(91)
3.3.3	偏铌酸铅压电陶瓷	(92)
3.3.4	铌酸钾钠压电陶瓷	(92)
3.3.5	钛酸铅压电陶瓷	(92)
§ 3.4	几种新型压电材料	(96)
3.4.1	压电高聚物	(97)
3.4.2	压电复合材料	(98)
3.4.3	玻璃陶瓷	(99)
3.4.4	弛豫铁电单晶	(100)
	参考文献	(100)
第四章	压电陶瓷常用振动模的等效图	(103)
§ 4.1	集总参数模	(103)
4.1.1	压电陶瓷薄圆环的径向对称模	(104)
4.1.2	压电陶瓷薄球壳的球对称模	(107)
§ 4.2	电场垂直于长度的长度伸缩晶片	(109)
4.2.1	电路状态方程	(110)
4.2.2	机械振动方程	(110)
4.2.3	机电等效图	(112)
4.2.4	自由振动情况	(112)
§ 4.3	电场平行于波传播方向的厚度剪切晶片	(114)
4.3.1	电路状态方程	(115)
4.3.2	机械振动方程	(116)
4.3.3	机电等效图	(117)
4.3.4	自由振动情况	(117)
§ 4.4	电场平行于波传播方向的厚度伸缩晶片	(118)

§ 4.5 电场平行于长度的长度伸缩晶片	(119)
4.5.1 电路状态方程	(119)
4.5.2 机械振动方程	(120)
4.5.3 机电等效图	(121)
4.5.4 自由振动情况	(121)
§ 4.6 薄圆片的径向振动	(121)
4.6.1 柱坐标中的基本方程	(121)
4.6.2 基本方程的简化	(123)
4.6.3 机电等效图	(124)
§ 4.7 压电陶瓷常用振动膜的小结	(126)
§ 4.8 机电耦合系数	(127)
4.8.1 机电耦合系数的定义	(127)
4.8.2 横向机电耦合系数	(128)
4.8.3 厚度剪切机电耦合系数	(128)
4.8.4 厚度机电耦合系数	(129)
4.8.5 纵向机电耦合系数	(129)
4.8.6 平面机电耦合系数	(129)
§ 4.9 有效机电耦合系数	(130)
§ 4.10 考虑损耗的压电陶瓷常用振动模的等效图	(131)
4.10.1 复数压电方程	(132)
4.10.2 机电等效图的推导	(132)
4.10.3 自由振动时的等效电路	(135)
参考文献	(136)
第五章 一维复合压电换能器	(138)
§ 5.1 等截面细棒纵振动的等效机械图	(138)
§ 5.2 无限大平板剪切振动的等效机械图	(139)
§ 5.3 无限大平板纵振动的等效机械图	(140)
§ 5.4 变截面细棒纵振动的等效机械图	(140)
§ 5.5 厚度振动换能器	(142)
§ 5.6 复合棒换能器	(146)
5.6.1 p 个晶片级联组合系统的机电等效图	(148)
5.6.2 喇叭形盖板的等效机械图	(151)
5.6.3 复合棒压电振子的机电等效图	(153)
5.6.4 共振频率方程	(154)
参考文献	(155)

第六章 圆柱形压电换能器	(157)
§ 6.1 压电陶瓷薄圆管的自由振动	(158)
6.1.1 基本方程的简化	(158)
6.1.2 频率方程	(159)
6.1.3 等效电导纳	(161)
§ 6.2 压电陶瓷圆柱形接收器的静态理论	(162)
6.2.1 应力函数和它的解	(162)
6.2.2 由边界条件定解	(164)
6.2.3 开路接收电压灵敏度	(166)
6.2.4 比较和讨论	(169)
参考文献.....	(170)
第七章 弯曲振动压电陶瓷换能器	(172)
§ 7.1 定义和假设	(173)
§ 7.2 运动方程	(175)
§ 7.3 边界条件	(177)
§ 7.4 换能器的能量	(178)
§ 7.5 机电等效图	(181)
§ 7.6 有效机电耦合系数	(183)
参考文献.....	(183)
第八章 叉指换能器	(185)
§ 8.1 工作原理和基本特性	(186)
§ 8.2 叉指换能器等效电路	(188)
参考文献.....	(192)
第九章 压电换能器暂态效应的分析	(193)
§ 9.1 波动方程及其解	(193)
§ 9.2 厚度模压电换能器的必要方程和边界条件	(194)
§ 9.3 压电晶片的电响应	(195)
9.3.1 开路响应	(195)
9.3.2 有限电阻抗负载的响应	(198)
§ 9.4 压电晶片的机械响应	(200)
§ 9.5 雷德伍德等效电路	(202)
参考文献.....	(203)
第十章 几种新型换能器简介	(204)
§ 10.1 圆柱形 PVDF 水听器	(204)

10.1.1	压电高聚物 PVDF 的性能	(204)
10.1.2	圆柱形 PVDF 水听器的结构和性能	(204)
§ 10.2	弯张换能器	(205)
10.2.1	N 型弯张换能器	(205)
10.2.2	N 型弯张换能器的实例	(206)
10.2.3	溢流式 N 型弯张换能器	(206)
§ 10.3	大面积平板 PVDF 水听器	(206)
10.3.1	对水听器材料的要求	(207)
10.3.2	大面积平板 PVDF 水听器的结构设计	(207)
10.3.3	实验样品水听器及其性能	(208)
§ 10.4	铍式换能器	(209)
§ 10.5	弛豫铁电单晶换能器	(210)
§ 10.6	单振子发射换能器	(210)
	参考文献	(211)
第十一章	压电弹性振动体的数值分析方法	(213)
§ 11.1	有限差分法	(213)
11.1.1	差商、截断误差	(213)
11.1.2	将微分方程化为差分方程	(215)
11.1.3	偏微分方程的差分方程的构成及求解	(217)
11.1.4	差分方程的收敛性	(219)
11.1.5	差分方程的稳定性	(219)
11.1.6	曲线边界的处理	(220)
11.1.7	薄圆片压电振子分析	(223)
§ 11.2	有限元法	(225)
11.2.1	线性压电弹性动力学问题的哈密顿原理	(226)
11.2.2	长度振动的压电晶体片形换能器分析	(234)
11.2.3	压电振子的有限元法振动分析	(245)
§ 11.3	有限元法和有限差分法的比较	(266)
§ 11.4	例题	(267)
§ 11.5	边界元法导引	(276)
	附录 ANSYS 软件概述	(276)
	参考文献	(278)
第十二章	换能器测量	(280)
§ 12.1	阻抗与等效电路的测量	(280)

12.1.1	导纳圆图法	(281)
12.1.2	传输线路法	(292)
§ 12.2	换能器发送效率的测量	(300)
12.2.1	直接法	(300)
12.2.2	电导(电阻)法	(302)
§ 12.3	换能器指向性测量	(303)
12.3.1	指向性图案、波束宽度和最大旁瓣级	(303)
12.3.2	指向性因数和指向性指数的确定	(307)
§ 12.4	换能器自由场校准	(308)
12.4.1	名词术语	(309)
12.4.2	互易法校准	(311)
12.4.3	比较法校准	(320)
附录 1	接收换能器电压耦合损失的测定	(322)
附录 2	指向性因数、指向性指数的计算图表及公式	(323)
参考文献	(324)
第十三章	换能器阵的理论基础	(326)
§ 13.1	阵的指向性	(326)
§ 13.2	表征阵性能的参数	(327)
13.2.1	指向性函数	(327)
13.2.2	空间增益(阵增益)	(336)
参考文献	(350)
第十四章	均匀换能器阵	(352)
§ 14.1	均匀线列阵	(353)
14.1.1	指向性函数	(353)
14.1.2	指向性图的分析 and 指向性参量	(354)
14.1.3	相控阵的指向特性	(359)
14.1.4	宽带线列阵的功率指向性响应函数	(361)
14.1.5	线列阵的空间增益	(362)
§ 14.2	均匀线阵	(364)
14.2.1	指向性函数、指向性图	(365)
14.2.2	阵的指向性参量	(365)
14.2.3	阵的空间增益	(366)
§ 14.3	点源均匀圆弧阵	(366)
14.3.1	指向性函数	(366)

14.3.2	阵的指向性参量	(368)
14.3.3	空间增益	(369)
§ 14.4	点源椭圆阵	(370)
14.4.1	指向性函数	(370)
§ 14.5	圆形活塞阵和椭圆形活塞阵	(371)
14.5.1	指向性函数	(371)
14.5.2	指向性参量	(372)
14.5.3	空间增益	(373)
§ 14.6	平面环形阵	(374)
§ 14.7	矩形活塞阵	(375)
§ 14.8	球体阵和球壳阵	(376)
14.8.1	球体阵	(376)
14.8.2	球壳阵	(378)
§ 14.9	线列阵组合平面阵	(380)
14.9.1	指向性函数	(380)
14.9.2	指向性参量	(380)
14.9.3	空间增益	(381)
§ 14.10	线阵组合平面阵、条形阵组合平面阵、矩形阵组合平面阵	(383)
§ 14.11	线列阵组合圆弧阵和线阵组合圆弧阵	(384)
14.11.1	线列阵组合圆弧阵的指向性函数和指向性参量	(384)
14.11.2	线阵组合圆弧阵	(387)
	参考文献	(392)
第十五章	非均匀换能器阵	(393)
§ 15.1	换能器阵的指向性综合	(393)
15.1.1	函数变换法	(393)
15.1.2	函数逼近法	(398)
15.1.3	数学规划法	(405)
§ 15.2	非均匀复合阵	(410)
§ 15.3	不等距阵	(415)
15.3.1	不等距阵的特点及设计方法	(415)
15.3.2	随机阵	(416)
§ 15.4	宽带恒定束宽阵的设计	(420)
15.4.1	恒定束宽线列阵的设计	(421)
15.4.2	恒定束宽圆弧阵的设计	(431)

15.4.3 任意形阵列恒定束宽阵的设计方法	(431)
§ 15.5 阵元间互辐射阻抗及其对阵指向性的影响	(432)
参考文献	(435)
第十六章 几种新型换能器阵的简介	(437)
§ 16.1 参量阵	(437)
16.1.1 参量发射阵的原理和指向性函数	(437)
16.1.2 参量接收阵的原理和指向性函数	(441)
§ 16.2 乘积阵	(443)
16.2.1 指向性函数为 $\sin x/x$ 函数的乘积阵	(443)
16.2.2 线列阵分裂组成的乘积阵	(445)
16.2.3 时间平均乘积阵	(445)
16.2.4 双阵元等效多阵元线列阵	(448)
16.2.5 双阵元等效切比雪夫束控阵	(448)
16.2.26 泼利哈特阵	(449)
§ 16.3 综合孔径阵	(450)
§ 16.4 自适应阵	(452)
16.4.1 空间固定方向上干扰信号的抑制	(452)
16.4.2 自适应阵——自控的空间方位滤波器	(454)
§ 16.5 声矢量换能器阵	(460)
16.5.1 声矢量换能器阵的指向性函数	(461)
16.5.2 声矢量换能器阵的空间增益	(462)
§ 16.6 拖曳线列阵	(467)
16.6.1 拖曳线列阵的特点	(467)
16.6.2 拖曳线列阵阵元随机位移对波束和测距的影响	(467)
16.6.3 解决拖曳线列阵左右舷目标模糊问题的一些方法	(468)
16.6.4 拖曳线列阵的指向性函数在浅海中的适用条件	(470)
§ 16.7 聚焦阵(聚焦探头)	(471)
16.7.1 凹面球形聚焦探头	(471)
16.7.2 电子聚焦探头	(476)
参考文献	(477)

第一章 引言

声学是一门古老而年轻的科学,自科学史诞生以来,始终处在物理学研究的前列.随着科学技术的发展,声学已渗透到其他自然科学领域,推动了许多边缘学科的产生和发展.近代声学已成为近代物理学中非常活跃的一个分支学科.

古典声学理论的发展常和乐器振动的研究有关,并促使许多数学家对物体振动进行研究;而以物体振动为理论基础的换能器的研究又为近代声学的发展提供了极重要的手段.当19世纪后期古典声学的发展达到顶点的时候,正是由于电子学和电声换能器(electroacoustic transducer)的应用,把研究声学的手段提高到一个崭新的阶段,从而导致发展了近代声学的各个分支.今天,大到像幢楼房似的水声换能器阵(transducer array),小到可以深入血管的小探针,不同换能机理的电动式、电磁式、磁致伸缩式、压电式、电致伸缩式、静电式换能器,不同结构的复合式、弯曲式、伸张弯曲式、增压式换能器等,使得声学技术深入到科学研究和工程技术的各个领域.

顾名思义,换能器(transducer)就是进行能量转换的器件,是将一种形式的能量转换成另一种形式的装置.作为科学名词的“换能器”有普遍的严格的定义;然而,通常所说的“换能器”一般都是指电声换能器.凡能实现电能(electric energy)和声能(acoustic energy)间相互转换的换能器都称为电声换能器.用来发射声波的换能器叫发射器.换能器处在发射状态时,将电能转换成机械能,再转换成声能.用来接收声波的换能器叫接收器.换能器处在接收状态时,将声能转换成机械能,再转换成电能.一般情况下,换能器既能用来发射,也能用来接收.

通常,换能器都有一个电储能元件和一个机械振动系统.当换能器用做发射时,从发射机的输出级送来的电振荡信号引起电储能元件中电场或磁场的变化.这种变化借助于某种物理效应,对换能器的机械振动系统产生一个推动力,使其进入振动状态,从而推动与机械振动系统相接触的介质振动,向介质中辐射声波.接收的过程正好相反,这时介质声场作用在换能器的振动面上,使机械振动系统进入振动状态.而机械振动系统发生振动时,借助于某种物理效应,引起电储能元件中的电场或磁场发生相应的变化,从而使换能器的电输出端产生一个相应于声信号的电压和电流.按照实现机电转换的物理效应的不同,将换能器分成:电动式、电磁式、磁致伸缩式、电容式、压电式和电致伸缩式等.极化了的电致伸缩换能器(electrostrictive transducer)从换能原理和处理方法上可以看成压电换能器(piezoelectric transducer),一般也把它称为压电换能器.

当前,压电换能器的理论研究和实际应用最为广泛,究其原因,不妨将压电换能器的发展作一简单回顾。

压电换能器的发展和应用是以压电效应(piezoelectric effect)的发现和压电材料(piezoelectric material)的提供为前提条件的。1880年,居里(Curie)兄弟已发现了压电效应,但直到电子管放大器的发明,压电效应才用于电声转换工程上。到第一次世界大战期间,法国物理学家朗之万(Langevin)研制出第一个实用的压电换能器,使压电效应得到了实际的应用。当时,朗之万应法国政府的要求研制一种探测潜艇的装置,试验了几种装置以后,发现压电石英换能器能达到这个目的。换能器的振子是由若干X切压电石英片夹在两块厚钢板之间组成的,如图1.1所示。由于钢板的直径要达到30~40cm才能获得足够的指向性,这样大的石英片难以得到,因而需由若干小片拼成。虽然直到第一次世界大战结束,他并没有

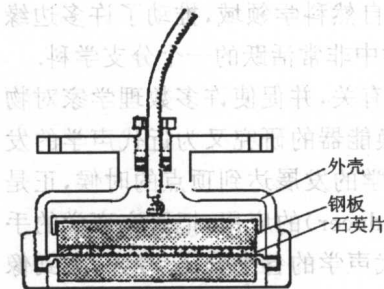
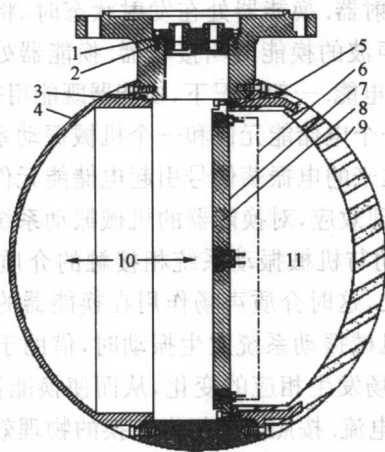


图 1.1 朗之万换能器

使此装置搞得很完善,但后来这种装置被广泛地用做超声探测仪。直到今天,这种类型的换能器仍得到应用,并且由于压电换能器作为高频声源的出现,使得高频声的研究才成现实。声学研究的领域因此被扩展,一个重要分支——超声学迅速发展起来;反过来,也使得对石英的需求急剧增长,于是人们不得不着手寻求新的压电材料。结果找到几种水溶性压电晶体(piezoelectric crystal),其中磷酸二氢铵(ADP)晶体在第二次世界大战中得到大量应用。图1.2为一种ADP声



1. 橡胶垫圈; 2. 密封套; 3. 橡胶垫圈; 4. 铸铁壳; 5. 橡胶垫圈; 6. 晶体阵;
7. 绝缘瓷; 8. 背衬平板; 9. 橡胶透声窗; 10. 空气腔; 11. 蓖麻油

图 1.2 声呐用 ADP 换能器阵

(晶体阵由 728 块 ADP 晶体粘贴在一块背衬平板上构成)

呐换能器阵. 在第二次世界大战前,“压电陶瓷”这个名词即使对物理学家也是陌生的,但在 20 世纪 50 年代后期,发现了铁电陶瓷的电致伸缩效应(electrostrictive effect). 当它们的成分和性能能够得到有效的控制和重复生产,并解决了极化工艺,压电陶瓷(piezoelectric ceramic)就成为另一种换能材料——磁致伸缩

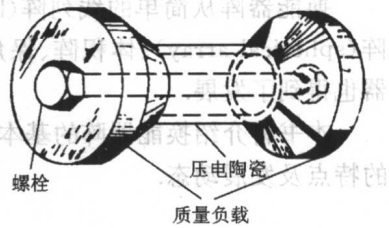
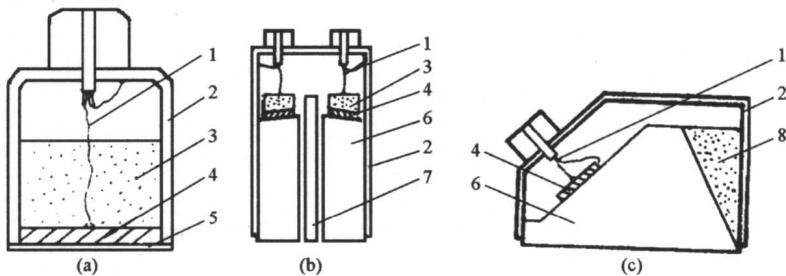


图 1.3 复合棒换能器振子

材料的有力竞争者,并逐渐处于统治地位. 20 世纪 60 年代中期研制成功的预应力螺杆复合棒压电陶瓷换能器以较小的重量和体积获得大的声能密度,而广泛地用于超声和水声的发射器. 图 1.3 为复合棒换能器振子. 目前,从用于大型声呐的低频大功率换能器到用于声全息和超声医疗的微小而十分精密的换能器,多以压电陶瓷做换能材料. 压电陶瓷换能器已成为产生和接收声的最有效的手段. 图 1.4 为几种压电陶瓷超声换能器. 在压电陶瓷发展的同时,随着单晶生长工艺的不断改进,出现了一些性能优良的单晶压电材料;压电高聚物(piezoelectric high polymer)和压电复合材料等新的压电材料也在不断出现,它们为声学技术提供了极重要的手段. 用这些新型压电材料研制出的换能器在某些方面的性能会优于压电陶瓷换能器,但本书所讨论的处理压电换能器的基本方法对它们也是适用的.



1. 电极引线; 2. 外壳; 3. 阻尼块; 4. 晶片; 5. 保护膜; 6. 声楔; 7. 隔声层; 8. 吸声材料

图 1.4 超声探测用换能器

单个换能器常常不能满足指向性、发射声功率、接收灵敏度以及信息处理等多方面的要求,需要用换能器阵来达到. 换能器阵是由多个换能器基元按一定方式排列、组合成的一种阵列. 换能器阵的理论与技术与换能器几乎是同时产生、相并发展的. 随着电子技术、雷达技术和信息论、信号处理技术的发展以及电子计算机的应用,换能器已从单纯能量形式的转换发展为作为电声信号时空处理系统一部分的声基阵系统. 通过它形成一定的空间指向性以获得空间增益,可使设备在干扰背景下提取所需的信息,从而完成在复杂环境下的探测任务.