

厦门大学新世纪教材大系

# 声学基础

新

世

● 许肖梅 编著

纪

教

材

大

系



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

厦门大学新世纪教材大系

# 声学基础

许肖梅 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书系统地阐述了声学的基本原理和某些最新应用技术的理论基础。全书共分8章,主要内容包括:质点振动系统和弹性体的振动;理想流体介质中声波的传播,小振幅声波的三个基本方程和波动方程,平面声波、球面声波和柱面声波的传播,声波在界面上或介质层上的反射、折射或透射以及声波在管中的传播;声波的辐射,典型辐射器的声场特征和指向性函数、辐射阻抗;声波的散射;声波的接收和声波在传播过程中的声吸收现象,最后还介绍了非线性声学的基本知识。

本书可作为声学、水声学等专业本科生的教材,亦可作为报考声学类专业的硕士研究生以及其他与声学相关专业的科技人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

声学基础/许肖梅编著. —北京:科学出版社,2003

厦门大学新世纪教材大系

ISBN 7-03-011753-0

I. 声… II. 许… III. 声学—高等学校—教材 IV. O42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 054669 号

责任编辑:张邦国/责任校对:柏连海

责任印制:安春生/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2003年8月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2003年8月第一次印刷 印张:18 1/4

印数:1—3 000 字数:344 000

定价:27.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

## 前 言

声学作为物理学的一个分支,是自然科学中最古老的学科之一.从伽利略1638年发表的《两个新科学的讲话》,到半个世纪后牛顿提出的恒温声速的理论,17世纪到19世纪这三个世纪中许多重要的数学家和物理学家几乎都研究过声学问题.经过100多年许多科学家的努力,从经典物理声学发展到成熟的阶段,1877年,瑞利以1000页的两卷《声学理论》做了总结.至今,特别是在理论分析工作中,我们还常引用此部巨著.

声学同时又是一门渗透性、交叉性极强的应用技术学科.从20世纪初开始,声学主要以外延的形式发展,与其他科学技术分支结合,建立了大量的边缘学科,在工业、农业、医学、国防、通信与信息技术、人工智能、材料科学、家电等领域中具有极其广泛的应用.现代科学技术的发展和科研手段的提高极大地促进了声学学科自身的发展和演变,反过来,现代声学也对当代科学技术的发展产生举足轻重的影响.

编著者根据多年来担任《声学基础》课程的教学实践体会和科研工作经验,参考了近年来声学方面的最新研究成果,博采众长,以厦门大学海洋系海洋物理专业本科生专业基础课《声学基础》讲义作为基础,经过较全面的修改、补充,编著此书.由于有关以声学基本问题为线索的教科书目前非常少,而且一般是过于偏重某一方面,因此在这一学科领域中进行教材建设,介绍新的科技成果,对推动声学领域的教学与科研,是十分必要和有现实意义的.

围绕着声学所研究的声波的发射、传播、接收和与物质相互作用等内容,本书力图用通俗易懂的语言,深入浅出地阐述声学的基本原理,介绍近年来有关声学最新研究应用的某些成果.书中插图由厦门大学海洋系陈东升老师协助完成,海洋系刘胜兴老师,海洋物理专业硕士研究生徐芳华、覃柳怀、俸恒修等同学协助进行了书稿的校对工作,在此表示衷心的感谢.本书适合作为声学各有关专业的教材,对于其他从事声学研究工作的科技人员也有参考价值.

由于本人学识和实际经验的局限性,书中一定有许多不妥之处.我期待着读者的批评与指正.

许肖梅

2003年5月

# 目 录

绪论 .....	( 1 )
第一章 质点振动系统 .....	( 15 )
§ 1-1 质点的自由振动 .....	( 16 )
1-1-1 振动方程及其解 .....	( 16 )
1-1-2 初始条件 .....	( 18 )
1-1-3 振动的能量 .....	( 19 )
1-1-4 弹簧质量对系统固有频率的影响 .....	( 20 )
1-1-5 弹簧串联与并联系统的振动 .....	( 22 )
§ 1-2 质点的阻尼振动 .....	( 24 )
1-2-1 振动方程和解 .....	( 24 )
1-2-2 阻尼振动的能量 .....	( 27 )
§ 1-3 质点的强迫振动 .....	( 28 )
1-3-1 无阻尼系统的强迫振动 .....	( 28 )
1-3-2 有阻尼系统的强迫振动 .....	( 30 )
1-3-3 强迫振动的能量 .....	( 32 )
1-3-4 速度振幅和位移振幅的频率响应 .....	( 33 )
1-3-5 强迫振动的过渡过程 .....	( 37 )
§ 1-4 机电类比 .....	( 41 )
§ 1-5 耦合系统的自由振动 .....	( 48 )
1-5-1 两个自由度耦合系统的自由振动 .....	( 48 )
1-5-2 两个自由度系统自由振动的举例 .....	( 54 )
1-5-3 两个自由度耦合系统的强迫振动 .....	( 59 )
第二章 弹性体的振动 .....	( 65 )
§ 2-1 弦的振动 .....	( 65 )
2-1-1 弦振动方程 .....	( 65 )
2-1-2 弦振动方程的一般解 .....	( 67 )
2-1-3 自由振动的一般规律——弦振动的驻波解 .....	( 68 )
§ 2-2 棒的纵振动 .....	( 72 )
2-2-1 棒的纵振动方程 .....	( 72 )

2-2-2 两端固定的棒的振动 .....	(74)
2-2-3 两端自由的棒 .....	(76)
§ 2-3 膜的振动 .....	(76)
2-3-1 膜振动方程 .....	(77)
2-3-2 矩形膜振动 .....	(78)
2-3-3 圆形膜振动 .....	(82)
2-3-4 圆膜对称自由振动的一般规律 .....	(85)
<b>第三章 理想流体介质中声波的传播 .....</b>	<b>(88)</b>
§ 3-1 引言 .....	(88)
3-1-1 表征声场的声学量 .....	(89)
3-1-2 几点假设 .....	(91)
§ 3-2 理想流体介质中的三个基本方程 .....	(92)
3-2-1 运动方程 .....	(92)
3-2-2 连续性方程 .....	(94)
3-2-3 状态方程 .....	(96)
3-2-4 声波传播速度 .....	(98)
§ 3-3 理想流体中小振幅波传播的波动方程 .....	(99)
3-3-1 波动方程的导出 .....	(99)
3-3-2 声速度势 .....	(101)
§ 3-4 声场中的能量关系 .....	(102)
3-4-1 声能密度 .....	(102)
3-4-2 声能流密度 .....	(103)
3-4-3 声强与声功率 .....	(104)
§ 3-5 声压级和声强级 .....	(105)
§ 3-6 平面声波在无界空间中的传播 .....	(107)
3-6-1 平面波波动方程及其解 .....	(107)
3-6-2 振速和声压的关系 .....	(109)
3-6-3 声阻抗率与介质特征阻抗 .....	(110)
3-6-4 电声类比的观念 .....	(111)
3-6-5 平面声波的能量关系 .....	(111)
3-6-6 任意方向传播的平面波声压表达式 .....	(113)
§ 3-7 平面声波的反射、折射和透射 .....	(114)
3-7-1 声学边界条件 .....	(114)
3-7-2 平面波垂直入射到两种介质平面分界面 .....	(115)

3-7-3 平面波斜入射到平面分界面上 .....	(118)
3-7-4 平面波在介质层上反射和透射 .....	(122)
§ 3-8 声波的干涉 .....	(131)
3-8-1 迭加原理 .....	(131)
3-8-2 驻波 .....	(132)
3-8-3 声波的相干性 .....	(132)
§ 3-9 均匀球面声波的传播 .....	(134)
3-9-1 波动方程及其解 .....	(135)
3-9-2 球面声波的声阻抗率 .....	(136)
3-9-3 球面声波的声强和声功率 .....	(139)
§ 3-10 柱面声波的传播 .....	(140)
§ 3-11 声波在管中的传播 .....	(143)
3-11-1 相速度和群速度 .....	(143)
3-11-2 矩形管中的声波传播 .....	(145)
3-11-3 圆柱形管中声波的传播 .....	(153)
<b>第四章 声波的辐射</b> .....	<b>(157)</b>
§ 4-1 辐射阻抗 .....	(157)
§ 4-2 均匀脉动球源的辐射 .....	(160)
4-2-1 脉动球的辐射阻抗 .....	(160)
4-2-2 声辐射与球源大小的关系 .....	(162)
4-2-3 辐射声场的性质 .....	(163)
§ 4-3 点源辐射器组 .....	(165)
4-3-1 两个同相振动的点源 .....	(165)
4-3-2 指向特性 .....	(165)
4-3-3 线性点源阵列 .....	(169)
4-3-4 声偶极辐射 .....	(173)
4-3-5 镜像原理 .....	(175)
§ 4-4 球形声源的辐射 .....	(176)
4-4-1 波动方程及其解的形式 .....	(176)
4-4-2 辐射声场举例 .....	(180)
§ 4-5 圆形平面活塞辐射器 .....	(183)
4-5-1 点声源 .....	(183)
4-5-2 圆形活塞辐射器的辐射阻抗 .....	(184)
4-5-3 平面辐射器的指向性 .....	(189)

4-5-4 圆形活塞式辐射器的远场特性 .....	(192)
4-5-5 近场特性 .....	(194)
§ 4-6 均匀脉动柱面的声辐射 .....	(196)
§ 4-7 基阵的互辐射阻抗 .....	(198)
<b>第五章 声波的散射</b> .....	(204)
§ 5-1 平面波在球面上的散射 .....	(205)
5-1-1 刚性不动球散射声场的声压 .....	(205)
5-1-2 散射波强度和散射功率 .....	(209)
5-1-3 刚性不动微小粒子对平面波的散射 .....	(211)
§ 5-2 刚性圆柱的散射 .....	(213)
5-2-1 散射波场的声压和声场 .....	(214)
5-2-2 细柱的散射 .....	(217)
<b>第六章 声波的接收</b> .....	(220)
§ 6-1 接收器表面的声压 .....	(220)
6-1-1 接收器表面的实际声压 .....	(220)
6-1-2 声场畸变与接收器失真 .....	(223)
§ 6-2 接收器的响应和指向性 .....	(224)
<b>第七章 声波的吸收</b> .....	(236)
§ 7-1 介质的黏性吸收 .....	(236)
7-1-1 黏性流体介质中的波动方程 .....	(237)
7-1-2 黏性介质波动方程的解 .....	(238)
7-1-3 黏性介质的声速及吸收系数 .....	(239)
§ 7-2 介质的热传导吸收 .....	(242)
§ 7-3 声波吸收经典公式的讨论 .....	(245)
§ 7-4 分子弛豫引起的吸收 .....	(247)
7-4-1 气体弛豫吸收的简单理论 .....	(248)
7-4-2 纯水的弛豫吸收 .....	(254)
<b>第八章 非线性声学</b> .....	(257)
§ 8-1 有限振幅波的非线性及其传播特性 .....	(258)
8-1-1 有限振幅波基本关系式 .....	(258)
8-1-2 有限振幅声波的波函数 .....	(261)
§ 8-2 有限振幅声波波形的非线性畸变 .....	(264)
8-2-1 波形的畸变 .....	(264)
8-2-2 畸变波形的谐波分析 .....	(267)



---

§ 8-3 有限振幅声波的介质吸收 .....	(269)
声学基础习题 .....	(273)
参考文献 .....	(280)

## 绪 论

声学作为物理学的一个分支,是自然科学中最古老的学科之一;声学也是一门发展的、具有广泛应用性的学科,涉及到人类生产、生活及社会活动的各个方面,具有很大的“外延性”,即边缘学科的特点.它与各种新学科、新技术相互作用,相互促进,不断地吸收、应用和发展了新的科学上的生长点,由此也增强了声学的生命力、竞争力和学术与艺术魅力.

声学是一门研究声波的产生、传播、接收以及与物质相互作用的科学.声是一种机械扰动在气态、液态、固态物质中传播的现象.所谓扰动,是指在气态、液态、固态物质中的一个密度的、或者是压力的、或者是速度的某种微小变化,这个变化在弹性介质中就会传播出去,这个传递的能量就是声.从声的这个概念上讲,只要在弹性介质中存在扰动,就会产生声波.

声波在传播过程中会引起物质的光学、电磁、力学、化学性质以及人类生理、心理等性质的变化,而它们反过来又会影响声音的传播.所以声学研究的范畴非常广,分支很多(见图 0-1).

声波的振动频率范围宽广,为  $10^{-4} \sim 10^4$  Hz.最初,声学的研究局限于可听的声音,即大约 20Hz 至 20kHz 频段的声波,称声频声,包括对音乐与乐器的研究,语言及听觉的研究,建筑声学的研究,电声系统(电话、微音器、喇叭等)的研究等.以后研究的领域逐渐扩展,低频方面扩展到 20Hz 以下的次声波,如 1Hz 以下的地震波等,高频方面扩展到 20kHz 以上的超声波及至数千兆赫的特超声.目前整个声学研究的频率范围跨越  $10^8$  Hz,是物理学各分支里少有的.随着频率的升高,声学进入微观世界,不断发现新的现象和新的应用.

声学既有经典的物理性质,又有量子的性质,成为打开微观世界的一把钥匙.同时,随着频率的降低,低频声波的吸收衰减越来越小,穿透能力和传播距离大大增加,成为观察大气、海洋、地壳中许多现象的强有力的工具.

不同频率范围的声波和相应的声学研究领域粗略地列于图 0-2.

常与声连在一起的字是音,即声音.音是能够引起有声调的感觉的一种声,即有意义的声.我国在古代对声和音的关系就已经有很好的认识和定义.老子经常讲到声与音的关系,如“音声相和,前后相随”、“大音希声,大象无形,大器晚成”等等,所谓“大音希声”讲的就是有理不在言高,只要你道理能够讲清,并不在于你的声波能量的大小,这里的声就是物理的声了,而音则是说话中的含义.

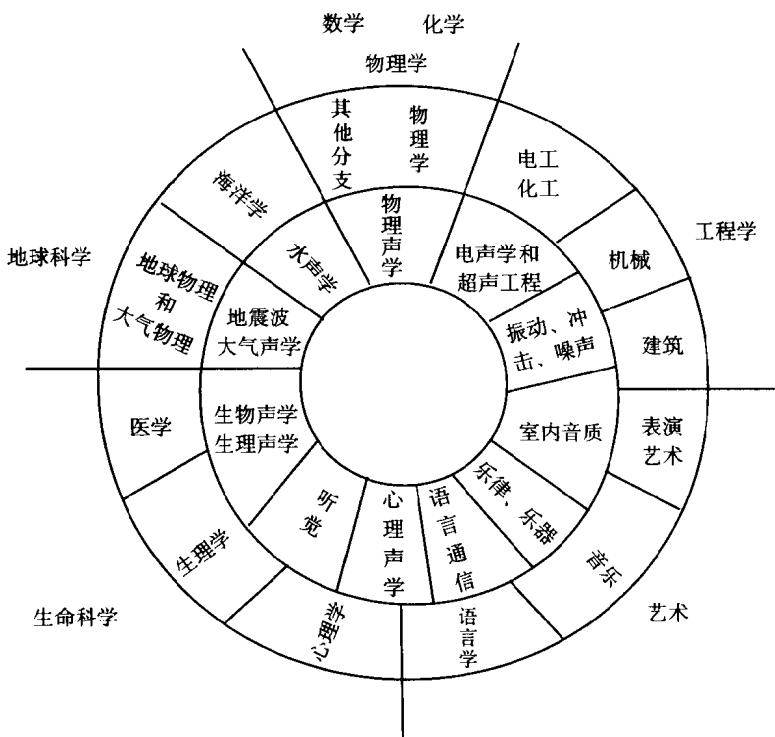


图0-1 声学分支与其他学科的关系

世界上最早的声学研究工作主要在音乐方面。《吕氏春秋》记载，黄帝令伶伦取竹作律，增损长短成十二律；伏羲作琴，三分损益成十三音。三分损益法就是把管（笛、箫）加长三分之一或减短三分之一，新的管奏出的音会比原来的音低一个音或高一个音，这三个音就协调，这是最早的声学定律。这个方法比西方毕达哥拉斯提出的以弦为基础类似方法要早。但古代的声学知识多数还是靠经验。

声学作为一门现代科学是从17世纪开始，和力学、电磁学等物理学科一起发展起来的。培根很早就讲过：“没有数学的介入，自然界的许多部分就不能详细的解释。”几乎当时所有杰出的物理学家和数学家都对研究物体的振动和声的产生原理做过贡献，如伽利略、牛顿、欧拉、达朗贝尔和拉普拉斯等。

伽利略发现摆的等时性规律，是近代振动和声学的科学的开端。此后，法国数学家伽桑狄利用远地枪声和闪光之间的时差测定了声在空气中传播的速度。法国数学家达朗贝尔于1747年首次推出弦的波动方程，并预言可用于声波。经典声学的特点是有比较精确的测量，对声的物理实质有了深刻的认识，发展了相应的数学

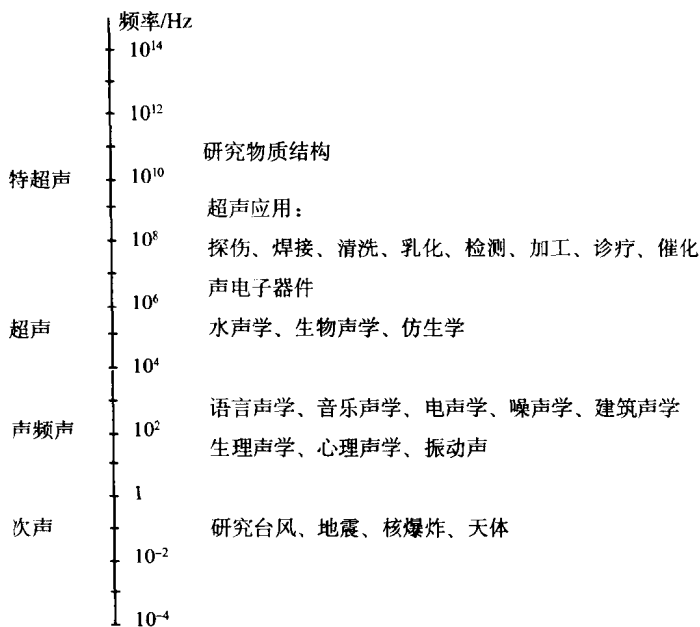


图 0-2 不同频率范围的声学研究内容

手段,建立了波动方程,对声波在气体、固体、液体和有限空间中的传播进行了理论和实践研究.经过一百多年许多科学家的努力,1877年英国物理家瑞利(Rayleigh)总结了前人的成果,出版了《声学理论》一书,此书集经典声学之大成,对后来的各种波动传播理论的发展具有重要作用.瑞利《声学理论》一书中的第一部分包括弦、杆、膜和板的振动,他还提出了瑞利-利茨方法,这在固体结构的振动和量子力学中均有广泛的应用;书的第二部分牵涉声在液体中的传播.至今,特别是在理论分析工作中,人们还常引用这部巨著.

19世纪末,理论工作研究的频段已不局限于音频范围,但由于没有高频声源,所以高频声的研究没能得到发展.1880年居里(Curie)兄弟发现了压电效应,但是直到电子管放大器发明以后,采用压电效应的电声换能器才能用于工程上,压电换能器作为高频声源才变成现实.20世纪,由于电子学的发展,使用电声换能器和电子仪器设备,可以产生、接收和利用任何频率、任何波形、几乎任何强度的声波,以致声学研究的范围不断扩大.

现代声学中最初发展的分支就是建筑声学 and 电声学以及相应的电声测量;以后,随着频率研究范围的扩展,又发展了超声学和次声学;由于手段的改善,进一步

研究听觉,发展了生理声学和心理声学;由于对语言和通信广播的研究,发展了语言声学.第二次世界大战中,开始把超声广泛地用到水下探测,促进了水声学的发展.与其他学科结合,声学形成了许多交叉学科.20世纪初以来,特别是20世纪50年代以来,全世界由于工业、交通等事业的巨大发展出现了环境噪声污染问题,从而促进了噪声、噪声控制、机械振动和冲击声研究的发展.大振幅的非线性声学也得到重视,这样逐渐形成了完整的现代声学体系.

## 一、声学是一门科学

声学作为一门科学,首先要致力于描述、创造和理解人类经验的一部分,即关于声波及声波的效应问题.在声音这个范畴里,有各种各样的现象,声学就是要建立各种各样的方程、定律来描述这些现象,发现一些新的声学现象,在理解的基础上发展新的预测理论.声学的生命力在于其科学的物理基础.

### 1. 声波的产生机制

声学首先要研究的是声波的产生.振动学是研究声源的理论基础.声学所研究的简谐振动及其在各种物质中传播的属性是物理学的本质之一.从伽利略的工作到胡克定律的发现,都是振动学的实验研究.18世纪数学的发展,推动了声学理论的发展.1713年泰勒(B. Taylor)第一次成功地把牛顿定律用于连续介质中微分元的运动,得出弦振动基频模的动力学解.偏微分方程的引入得出了振动弦偏微分方程的近代严格解,只有应用偏微分方程才可能解决可压缩连续介质的运动问题.在胡克对弹性体应力和应变关系研究的基础上,18世纪的数学家进一步研究了金属棒、弹性板的振动.瑞利于19世纪末最早提出声波动理论,对后来的各种波动传播理论的发展有重要作用.

目前的声波产生机制研究前沿,主要包括流致噪声、结构声辐射和热声学等几个方面.流致噪声研究的是流体的流动所产生的噪声,其应用很广.当前最困难的问题是湍流所产生的无规噪声.计算机中的风扇、潜艇在水下的活动,都会产生流动的不稳定,这种不稳定可以发展成为一系列的涡,涡流变化比较快的时候,就会变成更加复杂的湍流.研究表明:实际上,湍流里面不是无规的,而是有序的,有一定的科学规律,称之为混沌现象.掌握了这些规律,我们就可以利用声与涡之间的相互作用,来达到控制流场或声场的目的.如利用声波来控制涡的产生与发展,可以把声的能量变成涡的能量耗散掉.

热声学研究声与热之间的关系.1982年,Wheatley发现在驻波管内近四分之一波长内放一摞薄片,在声波作用下,薄片两端产生温度差,这就是热声现象.由于热梯度的存在和某种声场共振的机制,热变成了声.实际上只要有一个温度梯度,建

立一定的机制,就可以通过热的传导发出非常强的声音.反过来,声音的传播也可以有效地传热或制冷,这种新技术为声制冷,给不用氟里昂的冷藏系统提出前景.目前已经用在航天上,用来冷却红外探测头,其优点是可以产生一般的压缩机不可能达到的非常低的温度.

## 2. 声波的传播和衰减机制

由振动而形成的声波能量产生以后就要传播,因此我们需要认识声波是怎样传播的.如在混浊、含盐的海水中,无论是光波还是电磁波,它们的传播衰减都非常大,在海水中的传播距离十分有限.相比之下,声波在水中的传播性能就好得多,它在海水中的衰减比电磁波小 1000 倍以上.因此,声波在人类海洋活动中,如水下目标探测、通讯、导航等方面得到了广泛的应用.在水下声学中,20 世纪第一次世界大战和第二次世界大战之间,人们就对海水中变化多端的声传播机理有了认识.20 世纪 20 年代末和 30 年代初,船用回声定位设备在性能上存在一种神秘的不可靠性,也就是说,在早晨往往能得到良好的回波,可是一到下午回波就变差或者根本就收不到.直到弄清了回波一到下午就确实变弱,而与声纳员和仪器设备无关后,人们才开始在海水介质的传播特性上寻找原因.只有靠特殊的温度测量装置,才能使人们明显地看到很小的温度梯度就会使声音向海底折射,从而使目标处于影区. E. B. Stephenson 称这种现象为“午后效应”.为了测量海面以下几百英尺范围内的温度梯度, A. F. Spilhaus 于 1937 年首先研制成了温度深度仪,第二次世界大战开始时几乎每一条参与反潜的海军舰只都装有这种设备.近年来,为了监测海洋中温度的变化,美国于 1995 年开始筹备,1997 年正式启动了一个国际性的声学大洋测温计划,在夏威夷附近的一个小岛边的水下,放置了一个大功率的声源,发出 70Hz 左右的低频声波,然后在大洋的其他地方(包括我国的台湾以东)布置了一些接收点,通过测量从声波发射到接收处两点之间的距离和时间,就知道了声波的传播速度,而声速与海水温度有关,从而就可以测出从发射点到接收点之间的大洋的平均水温.

同时,声波在大气中的传播也是目前研究的内容.大气中的湍流、大气层的厚度、温度分布、湿度分布等等变化,都会对声的传播产生很大的影响.特别是对于不透光的物体,声波是很好的探测手段.因此,需要研究声波在固体中的传播,如 B 超,就要研究声波在人体的各种器官中是如何传播的,然后才能做出判断.

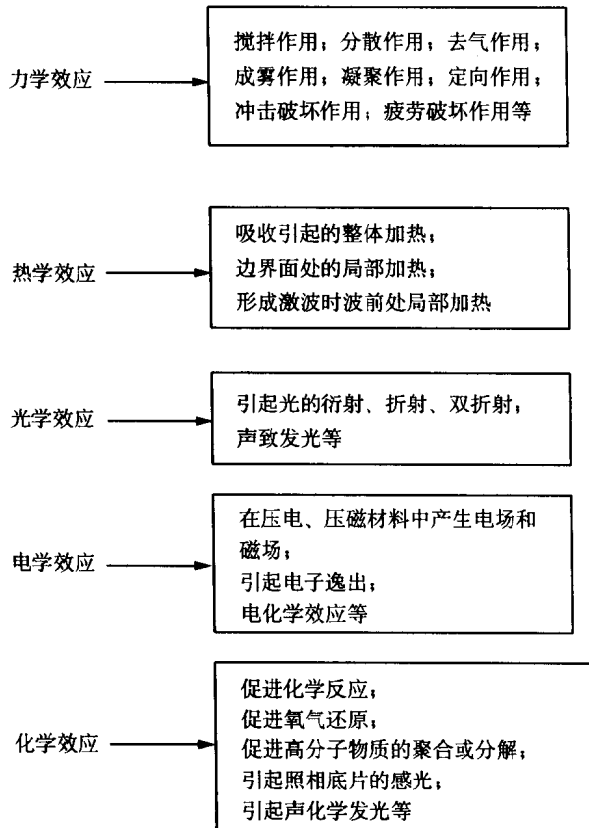
## 3. 声波的接收

声波的接收是研究怎样把声信号变成电信号,如传声器,并在仪器上进行显示.同时声学的接收还研究听觉的机理,这与人直接有关,人感受到声音首先是通

过耳朵.在生物世界里,声学也许是最早进入人脑的物理学科.如研究人耳听见的声音通过耳蜗是怎样进入大脑的,人的大脑怎么对声调有这么强的分辨能力,怎么能够识别不同人的讲话声,对音乐的细微差别为什么能觉察得那么灵敏;再进一步研究,人是怎样理解语言的.通过对大脑这个“黑匣子”的分析,人们可以对大脑有更深入的理解.

#### 4. 声波的作用

在声与物质相互作用的研究过程中,到目前为止,虽然主要是研究物质的声速、声衰减及密度、弹性系数(或黏度)等宏观量,但通过宏观量的测量,可以揭示物质微观世界的本质.如分子声学从超声传播速度和衰减及其弛豫效应的测定,可以研究气体中分子的各种运动之间的能量转移以及分子间的能量转移,液体中的各种分子结构有关的动力学过程,以及固体物质的相变、缺陷、晶粒尺寸乃至微观的分子结构,半导体和超导体中的能隙及能级分布情况等.当声波强度较强时,它除



了产生线性效应之外,还有非线性效应.声音在传播过程中,会引起物质的性质和状态的变化.这些效应包括力学、热学、光学、电学、化学效应.这些效应在不同的场合中得到了具体的应用.

非线性声学及其非线性振动是 20 世纪中非常活跃的课题.它涉及物质的基本力学性质,以及机械波和物质的相互作用.当液体中有强度超过该液体的空化阈的声波传播时,液体内会产生大量的气泡,小气泡将随着超声振动而逐渐生长和增大,然后又突然破灭和分裂,分裂后的气泡又继续生长和破裂,这种现象即为空化.液体中空化现象和波与波相互作用的研究,推动了强声波作用下许多物理、化学效应的机理研究,并在工程技术中得到了应用.如卫星在上天之前,首先要检查它里面的一些仪器设备,是否能够经得住高声强的振动作用,称为声振动实验或“声疲劳实验”.在液体中,由于声波或者流动的作用,会产生一些气泡,研究发现,这些气泡在声波的作用下会发光,在破裂的瞬间还会产生非常高的温度,甚至非常高的电磁场.

## 二、声学是一门技术

声学是一门技术,是因为我们可以利用已知的声学的科学原理,去改造人类生存的环境,去发展人类需求的各种方法和工具.声学技术的广泛应用,首先要归功于声波的物理特性.技术对声学来说,是它的竞争所在.其主要的应用技术包括:

### 1. 水声技术

水声技术是利用声波对水下目标进行探测、识别、定位、通讯和导航等功能的声学技术,这是由于声波是唯一能在海水中有效地进行远距离信息传递的载体.蓝绿光在海水中衰减系数为 123dB/km,100Hz 超长电磁波在海水中衰减系数为 345dB/km,但 100Hz 声波在海水中的衰减系数仅为 0.0015dB/km.声波能在水下传播很远距离,而光波和电磁波则在很短距离内就会被海水完全吸收.因此,所有的水下探测、通讯、导航、遥控等活动都离不开声学.水面舰艇、水中潜艇、鱼雷、水雷、水下暗礁、鱼群以及其他发出声波或产生回波的水下物体,均可看为声纳(即水声设备)的探测目标.所以,声纳在军事上和国民经济中具有广泛的用途.

1826 年,法国数学家查尔斯·斯特姆(Charles. Sturm)和瑞典物理学家丹尼尔·克拉顿(Daniel. Colladon)在日内瓦湖第一次测出了声音在水中传播速度的测量值(如图 0-3 所示).斯特姆(图中左)敲响响了浸在水中的钟,克拉顿用秒表记下了声音传过水下所用的时间,测得的声音的传播速度为 1435m/s,比现在公认的速度值只差 3m/s.

水下目标探测,是利用目标自身发出的声波(包括自身的噪声或主动发出的声



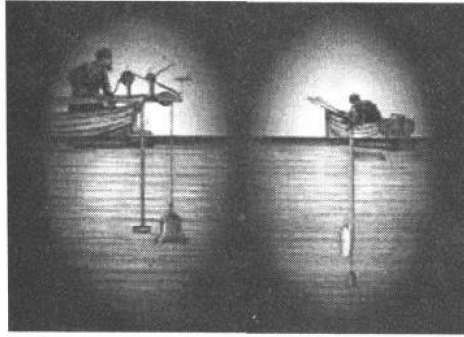


图 0-3 水中声速的测量

信号)或目标的反射回波来确定目标的存在;对水中感兴趣的目标进行不间断的跟踪探测称为跟踪;区分目标的类型和性质是通常所指的识别.所谓目标类型和性质是指目标的大小,是假目标还是真目标(例如石头、鱼或潜艇),是我方舰艇还是敌方舰艇,是何种类型的舰艇等等.通讯是指各潜艇之间,潜艇与水面舰艇之间利用声波传递信息;导航是声纳技术的另一类广泛应用领域,可以利用测量水深、本舰的航速来提供本舰的位置和速度等参数.例如,船只进港常需要多普勒导航声纳,潜艇在水下航行则必须利用声纳进行导航.近年来,水下武器广泛利用非触发声引信,因而利用声波使武器(如鱼雷)导向目标的声制导技术就得到广泛应用.鱼雷上有主动或被动式声波导向目标的制导装置,而新型水雷也逐步向这方面发展.侦察敌方声纳参数(如频率)或利用干扰声和假目标来压制和迷惑敌方声纳的技术统称为水声对抗.

图 0-4 为声纳探测示意图.在温暖的海洋上层中,声音向海洋表面折射,当声

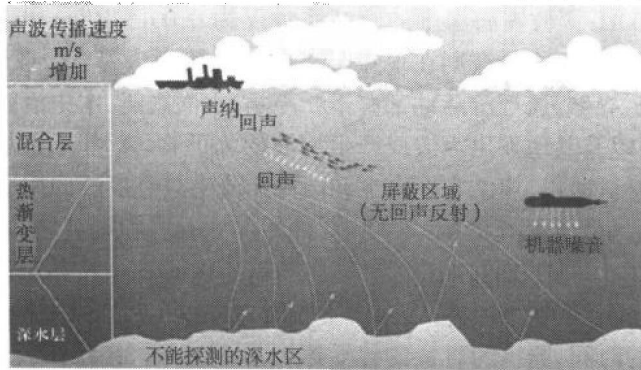


图 0-4 声纳探测及声盲区示意图