

超声技术及其应用

[英] J·布利茨 著

海洋出版社

TB 55

B94

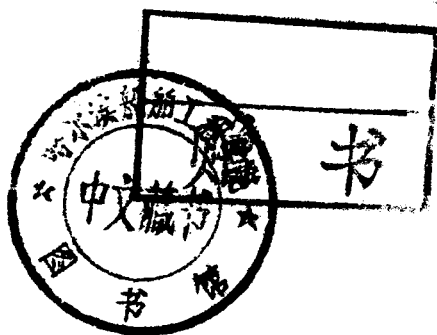
367915

超声技术及其应用

〔英〕 J. 布利茨 著

李 东 林 译

蔡 崇 成 校



海 洋 出 版 社

1992年·北京

内 容 简 介

本书是为工程技术人员写的一本实用性较强的超声学专著，内容覆盖面较宽。

书中尽量避开以往数学对理论的支持，直接给出物理概念，论述思路清晰，内容简洁明了。适合各种层次的工程技术人员、医疗及其他领域的需要了解超声知识的人员阅读。

DE61/00

(京)新登字087号

责任编辑 陈泽卿

超声技术及其应用

[英] J. 布利茨 著

李东林 译

蔡崇成 校

海洋出版社出版 (北京市复兴门外大街1号)

海洋出版社发行处发行 香河县荣生印刷厂印刷

开本: 787×1092

1/32 印张: 6.5

字数: 140千字

印数: 1~500

1992年9月 第一版

1992年9月 第一次印刷

统一书号: ISBN7-5027-3281-0/O·56 定价: 6.00元

译 序

J. 布利茨教授曾执教于英国 Brunel 大学物理系。教授共写过三部声学论著, 即《Elements of Acoustics》(1964)、《Fundamentals of Ultrasonics》(第二版1967)、《Ultrasonics, Methods and Applications》(第二版1971)。这三部书均由英国 BUTTERWORTHS 出版公司出版。其中第三部, 也即现在翻译出版的这部书, 是在第二部书的基础上简化提炼而成的。这部书叙述思路清晰, 内容简洁明了, 尽量避开了以往数学对理论的支持, 直接给出物理概念, 是针对实用领域的工程技术人员写的。尽管该书及书中所列的参考书籍成书年代较早, 但它们至今仍常常被文章及书籍的著者所引用。该书中所推荐的参考杂志日前仍是这一学科中最具代表性的刊物。总之这是一部实用性较强的书籍。目前超声技术在工业、医疗以及其他领域中的应用越来越广泛, 我们把它翻译介绍给读者, 在实用中查阅。

该书原名《Ultrasonics: Methods and Applications》, 我们根据其内容的特点, 将译名定为《超声技术及其应用》。翻译过程中, 对原著中明显的印刷错误及笔误做了改正而不再一一加以注释, 对几处名词的用法及其他一些可能会引起含混的地方做了适当的注释。

海洋出版社陈泽卿先生自本书的组稿至付梓, 做了大量的我们所不熟悉的有关出版方面的技术性工作及事务性工

作，并在编辑过程中对译稿里一些字句的用法提出了很好的修改建议，友好的帮助使得出书工作不再显得那么劳苦，我们在此谨表衷心的感谢。

李东林

1992年2月于哈尔滨船舶工程学院

前 言

鉴于现有的大多数有关超声学方面的著作均要求读者具有必要的物理学、数学及电子学等科目的知识,本书特地写给那些在实际工作中需要超声学知识而又可能不大具备上述要求的读者。本书是在作者的另一部书《超声学原理》的基础上写成的,但已将其学术水平降了下来,并将内容的覆盖面做了拓展,以求尽可能广地包括那些实际应用情况。

希望本书能够满足各种层次的工程科技人员的需要,也希望它能满足从事医用超声工作者的需要。

作者在此对书中所用到的各种资料的来源表示感谢;同时对Brunel大学的P. Feltham教授、G. F. Lewin博士、Salford大学的B. Brown博士、Radyne公司的A. E. Crawford先生以及Dawe仪器公司、Kerry超声公司和西方工具公司的诸位先生们表示感谢,感谢他们在本书的成稿过程中所给予的友好合作。

J. 布利茨于Brunel大学

单 位 注 释

为了与目前的实用情况一致起来，本书自始至终均采用标准国际单位制（SI制），下列单位注释对于不大熟悉SI制的读者将是有益的。

质量、长度和时间在米制系统中是分别以千克（kg）、米（m）和秒（s）为单位的。频率的单位为赫兹（Hz），它与其他单位制中所用的每秒周数（C/s）是相当的。SI制中相邻的约数与因数间是以 10^3 相联系的，并采用下列标示法：

微微（p）= 10^{-12}	千（k）= 10^3
毫微（n）= 10^{-9}	兆（M）= 10^6
微（ μ ）= 10^{-6}	千兆（G）= 10^9
毫（m）= 10^{-3}	

例如

$$1\text{ ns (1毫微秒)} = 10^{-9}\text{ s}$$

$$1\mu\text{ m (1微米)} = 10^{-6}\text{ m}$$

$$1\text{ GHz (1千兆赫兹)} = 10^9\text{ Hz (即 } 10^9\text{ cm/s)}$$

目 次

第一章	引言	(1)
第二章	基本理论	(8)
第三章	超声换能器	(34)
第四章	超声波在介质中的传播	(73)
第五章	低强度超声波技术	(96)
第六章	低强度超声应用	(124)
第七章	高强度超声波及其应用	(163)
索引		(186)

第一章 引言

1.1 概述

超声学，作为一门研究声音以高于人耳闻域的上限频率（18kHz）传播时的规律的学科，已不能算是新鲜课题了。加尔顿（Galton）早就意识到了超声波的存在，他于1883年在研究人耳对声谱的感知极限时所用的那只哨子，可以说是最早的人造超声换能器之一。不过，他的这件实验用具在当时看来，除了用做狗哨或许合适*，此外就再也派不上什么别的用场了。

继加尔顿的工作之后的30年里，超声学一直保持着鲜为人知的奇特性；超声学的发展由于当时电子技术的进展不足而受到了限制。因此，当压电效应和磁致伸缩效应被发现时，并没有被用于制做有用的超声器件。作为1914~1918年战争经验的结果，人们对超声学的兴趣逐渐显现出来。在法国，郎之万发明了石英晶体换能器，用来在水中发射、接收频率较低的超声波，结果表明这为探测潜艇和水下通讯提供了一种有效的手段。

战后，电子学领域迅速发展，到了1925年，皮尔斯（Pierce）用石英晶体和镍制做的发射、接收超声波换能器已经将频率拓展至兆赫兹的范围。在此期间，德比（Debye），希

* 狗的闻域上限频率比人类的要高。——译者

尔斯 (Sears)、刘卡斯 (Lucas) 和比奎德 (Biquard) 分别通过各自独立的研究工作发现了超声衍射栅。自此利用超声波来研究液体和气体的声学特性的工作便稳步地发展起来了。30年代, 又开展了对固体特性的超声波研究工作。1934年, 索克洛夫 (Sokolov) 在苏联首次发表了论述超声探伤的著作。

在两次世界大战期间, 人们做了许多关于高强度超声波发生器的研究工作, 这些高强度超声波发生器包括超声哨、多孔笛以及电火花隙装置等。在此期间, 1927年是一个重要的年头, 这一年哈特曼 (Hartmann) 和特尔 (Trolle) 展示了他们研制的超声哨的每一个细节, 该超声哨可以在流体中产生并传播功率高达50W的超声波。不过在当时高强度超声波发生器的应用范围仍然是极有限的, 直至第二次世界大战, 才为其发展提供了新的应用场所。

伯格曼 (Bergmann) 在其《超声学》一书中对于这方面的早期工作作了出色的论述, 这本书被公认为超声学领域的经典著作。

源于雷达技术的脉冲方法的采用, 使得超声波的应用范围拓展了许多, 而且在战后的岁月里, 超声技术被广泛地用于材料的无损检测、医学诊断, 以及各种各样的测试设备和控制设备之中。同时, 人们也认识到了高强度超声波的其它一些潜在的应用前景, 比如超声清洗、超声乳化、超声钻孔以及种种对材料进行超声波处理的应用。

60年代, 随着新材料、新技术的发现, 随着微波传播技术的发展, 人们已经可以产生频率高达100GHz的超声波。现已表明, 这种超高频超声波在物理学、通讯及计算机技术等领域的基础研究中起着非常重要的作用。

在许多应用的场合，人们之所以优先选择超声波而不是可闻声波，是出于以下的一点或几点原因：

1. 超声波具有较好的指向性——频率越高，指向性越强。这在诸如探伤和水下声通讯等应用场合是主要的考虑因素。

2. 频率高时，相应地波长将变短，因而波长可与传播超声波的试样材料的尺寸相比拟，甚至波长可远小于试样材料的尺寸。这在厚度尺寸很小的测量应用中以及在高分辨率的探伤应用中是非常重要的。

3. 超声波用起来很安静，人们听不到它。这一点在高强度工作场合尤为重要。这些高强度的工作用可闻频率的声波来完成时往往更有效，然而遗憾的是，可闻声波工作时所产生的噪声令人难以忍受，有时甚至是对人体有害的。

超声波的应用被严格地分为低强度应用和高强度应用两类^{*}。在低强度应用类中，超声波或是用来研究试样材料的特性，或是用来作为控制手段。绝大多数情况是被测材料本身经受不起结构上的持久变形或是经受不起化学特性上的变化，才采用低强度超声波作为测试手段的。许多低强度应用场合中所用的超声波，其频率都很高，典型的工作频率是在兆赫兹的范围内，而其声功率的范围则较宽，一般可从数微瓦到数十毫瓦。在高强度应用类中，超声波通常是用来改变它所通过的物质的性质。高强度应用几乎总是在低频的情况下进行的，通常就把工作频率选在刚好高出可闻声频的上限处，而其声功率则可以从数毫瓦至上千瓦。

* 低强度超声应用和高强度超声应用有时也用大功率超声应用和小功率超声应用两个术语代之。——译者

本书是从入门的角度编写的，如读者欲作更深入的钻研，就得去参阅下列书目，如读者只对某一专题感兴趣，则可参阅每章之后所开列的参考文献。

1.2 参考书目

1.2.1 普通的声学教科书

BLITZ, J., *Elements of Acoustics*, Butterworths, London (1964).

STEPHENS, R. W. B. and BATE, A. E., *Acoustics and Vibrational Physics*, 2nd edn, Arnold, London (1966).

1.2.2 普通的超声学教科书

BERGMANN, L., *Ultrasonics* (English translation, H. S., Hatfield), Wiley, New York/Bell, London (1938).

BLITZ, J., *Fundamentals of Ultrasonics*, 2nd edn, Butterworths, London (1967).

CARLINB, ., *Ultrasonics*, 2nd edn, McGraw-Hill, New York (1960).

GOOBERMAN, G. L., *Ultrasonics—Theory and Application*, English Universities Press, London (1968).

HUETER, T. F. and BOLT, R. H., *Sonics*, Wiley, New York/Chapman & Hall, London (1955).

RICHARDSON, E.G., *Ultrasonic Physics*, 2nd edn, Elsevier, Amsterdam (1962) .

VIGOUREUX, P., *Ultrasonics*, Chapman & Hall, London (1950) (concerned mostly with liquids and gases).

1.2.3 主要讲解理论问题的高级专门著作

BEYER, R.T. and LETCHER, S.V., *Physical Ultrasonics*, Academic Press, New York (1969).

COTTRELL, T.L., and MCCOUBREY, J. C., *Molecular Energy Transfer in Gases*, Butterworths, London (1961) .

HERZFELD, K.F. and LITOVITZ, T. A., *Absorption and Dispersion of Ultrasonics*, Academic Press, New York (1959) (deals with liquids and gases only).

MASON, W.P., *Physical Acoustics and the Properties of Solids*, van Nostrand, Princeton (1958) .

MASON, W.P. (Ed.), *Physical Acoustics-Principles and Methods*, Academic Press, New York (a series of volumes containing contributed articles by specialists on various aspects of the subject; the first volume appeared in 1964 and subsequent ones are published from time to time)

NOZDREV, V.F., *Applications of Ultrasonics in Molecular Physics*, Gordon & Breach, New York (1963) .

ROZENBERG, L.D. (Ed.) , *Sources of High Intensity Ultrasound, Vols 1 and 2*, Plenum Press, New York (1969) .

TRUELL, R., ELBRAUM, C. and CHICK, B.B., *Ultrasonic Methods in Solid State Physics*, Academic Press, New York (1969) .

1.2.4 有关实际应用方面的书籍

BANKS, B., OLDFIELD, G.E and RAWDINGS, H., *Ultrasonic Flaw Detection in Metals*, Iliffe, London (1962) .

BROCKELSBY, C.F., PALFREEMAN, J.S., and GIBSON, R.W., *Ultrasonic Delay Lines*, Iliffe, London (1963) .

BROWN, B. and GOODMAN, J.E., *High-Intensity Ultrasonics-Industrial Applications*, Iliffe London (1965) .

BROWN, B. and GORDON, D. (Eds), *Ultrasonic Techniques in Biology and Medicine*, Iliffe, London (1967) .

CRAWFORD, A.E., *Ultrasonic Engineering*, Butterworths, London (1955) .

FILIPCZYNSKI, L., PAWLOWSKI, Z. and

- WEHR, J., *Ultrasonic Methods of Testing Materials*, Butterworths, London (1966) .
- GORDON, D. (Ed.) , *Ultrasonics as a Diagnostic and Surgical Tool*, Livingstone, Edinburgh (1964) .
- KRAUTKRAMER, J. and H., *Ultrasonic Testing of Materials*, Allen & Unwin, London (1969) .
- WELLS, P. N. T., *Physical Principles of Ultrasonic Diagnosis*, Academic Press London (1969) .

1.2.5 超声学发展现状

将下列期刊推荐给读者，以期了解超声学发展的最新动态。

Acustica, Germany (articles in English, French, and German) .

IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics,
USA .

Journal of the Acoustical Society of America,
USA .

Soviet Physics: Acoustics (English translation),
USA .

Ultrasonics (Great Britain) .

第二章 基本理论

2.1 概述

可闻声与超声的唯一区别就是后者是人耳所听不到的。因此有关超声波传播的理论与可闻声波传播的理论完全是一回事，这些理论可以在任何一本关于声学的普通教材上查到（比如，可参阅Stephens与Bate所著一书^[1]）。本章简要地叙述一下与本书中所述及的各种现象及应用有关的声学理论。

当某种物质的内部发生机械扰动时，该物质内部就产生了声波。这种机械扰动可以是各种形式的，比如，它可以是冲击激励式的，就像爆炸或敲钟等声音那样。另一方面，这种机械扰动也可以是连续振动式的，比如像说话、演奏乐器、或机器有规律的运动等声音那样。每种情况下，声源都是处于振动状态的。

2.2 振动与波

表征振动特性的量是频率，即单位时间（1s）内所完成的周期性运动的次数。频率的单位是赫兹（Hz），更高的频率可用千赫（ $1\text{kHz}=10^3\text{Hz}$ ），兆赫（ $1\text{MHz}=10^6\text{Hz}$ ）或千兆赫（ $1\text{GHz}=10^9\text{Hz}$ ）表示。

一般产生声波的扰动是发生在一段连续的频率范围内

的，或者我们把它称为频带，频带的宽度有赖于声源的性质及其固定方式（见2.10节）。对于连续振动而言，带宽一般很窄并且是集中在一些离散的频率点附近的，这些离散的频率之间具有简单的数学关系（见2.9节）。最低的那个频率点称为基频，其他的点称为谐频或泛频。第二个谐频点的频率值是基频点频率值的二倍，第三个谐频点的频率值是基频点频率值的三倍，如此类推。对于冲击激励而言，其振动频率的频带是连续的，而且可能很宽。

对大多数超声应用的场合来讲，声源的主要成分是一单频的平面简谐振动，就如同发动机汽缸里的活塞所做的运动那样，不同的是超声波的振幅很小而且振动频率很高。如果我们每隔一定时间测量一次声源离开其平衡位置的位移，比如说每隔千分之一秒或每隔百分之一秒测量一次的话，则可得如图2.1所示的位移变化曲线。

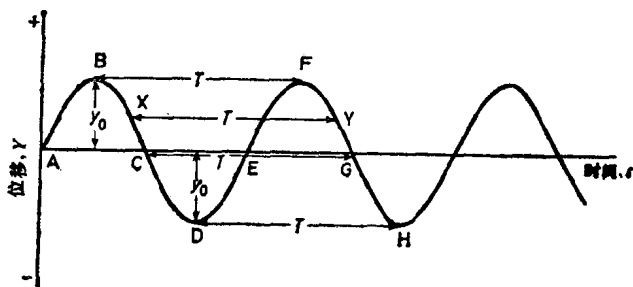


图2.1 超声波声源的位移随时间变化的关系曲线

声源做一次完整振动所需的时间称为周期 T ，图2.1中两个相邻峰值点间的长度 BF 或两相邻谷点间的长度 DH ，以及诸如长度 AE 、 CG 及 XY 等均代表一个周期的时间长度。这