

2000 年 的 声 学

关 定 华

(中国科学院声学研究所)

一、声学的特点和发展趋势

声学是研究物质中机械波的产生、传播和接收及其与物质的相互作用的科学。声学既是一个老学科,又是一个新学科,我国发掘出的商代编磬(公元前 17—12 世纪)已有很接近自然律的乐律,比希腊毕达哥拉斯利用弦长提出自然律的乐律要早一千多年。河南出土的战国时代的编钟很接近现代键盘乐器的乐律,一个钟能发两个音,它的调音是利用振动的节线,很符合现代声学理论。在国外,声学也发展很早,集经典声学大成的瑞利声学理论一书发表在 1877 年。但声学又是年轻的、生气勃勃的新兴学科,它的许多分支学科和技术是近几年才出现的。如超声表面波器件就是很新的器件,年龄和大规模集成电路差不多。语言识别与语言合成的真正进展还是在电子计算机出现之后。声学总是随着新的技术和新的需要而不断更新自己的研究内容和手段。声学是近年来发展最快的学科之一。

现代声学的特点和发展趋势是^[1]:

(1) 频率范围广:可听声的频率范围是 20 赫到 20,000 赫。可是现代声学研究的声的频率范围不断向高端和低端扩展。20 千赫到 5×10^8 赫的声称为超声, $5 \times 10^8 - 10^{12}$ 赫的声为特超声。 $10^{12} - 10^{14}$ 赫则是分子热运动的范围。20 赫以下称为次声。人们接收的次声低到 10^{-4} 赫。目前整个声学研究的频率范围跨越 10^{16} , 是物理学任何一个分支少有的。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。声学既有经典的性质,又有量子的性质,成为打开微观世界的一把钥匙。

低频的声波,随着频率的降低,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。

(2) 传播介质广, 穿透能力强:人们最初只注意到空气中的声波。但后来水声、超声等的研究,把介质扩大到各种气体、液体、固体、等离子体等。凡有物质的地方,声波都可以传播。许多光波、电磁波不能穿透的物质,声波都可以穿透。例如在海洋和地壳中,能远距离传播的就只有声波。所以现在人们把声学技术列入探索物质结构的三大技术(声学技术、电磁技术、粒子作用)之一是有道理的。声波穿透物质可以带来物质内部结构的信息,或改变物质的状况。目前的发展趋势是介质种类不断增加,观察的深度、广度和取得的信息不断增加。

(3) 与其它学科互相渗透, 应用面广:声波在大气中传播的研究形成“大气声学”,与大气物理、气象学有密切的关系,利用次声和声雷达可以观测大气中的现象。声波在海洋中传播的研究形成“水声学”,声波成为水下观察的最有效的工具。与海洋开发、水下战争等有密切关系。声波在人体中传播的研究形成“医学超声学”,目前超声诊断对许多疾病有极好的效果。此外,声-光,光-声,声-电,电-声等相互作用和转化都不断在人们面前展开广阔的前景。声学与计算机数据处理的关系也是极其密切的。语言声学最早使用计算机处理数据。利用计算机处理数据的超声诊断设备可以提供丰富的人体中的信息。声学与其它学科相互渗透,不断形成新的分支学科,是近年来的发展趋势。声学在国防、国民经济和人民生活的各领域中有着十分广泛的应用。

近代声学不断深入到人的思维和大脑活

动。很有可能,声学是人类最先突破人脑活动禁区的学科。

二、当前活跃的分支学科

在国际上声学学科中最活跃的分支学科有超声学、水声学、振动与噪声、语言声学、生理声学与心理声学等。

现在可以利用远红外激光产生频率高到 3×10^{12} 赫的超声波,接近晶格振动的截止频率。高频声子与物质中许多微观结构,如原子、电子、空穴、位错、载流子等都有相互作用,可用于研究晶体、超导体和中子星的塑性流,测量超导能隙、金属的费米面,研究固体的声子谱等,成为研究金属、非金属及玻璃态等物质的重要手段。特超声又开发了许多新应用技术,如声电子自旋技术、声核磁共振技术、自旋声子谱仪,薄膜声子谱仪等^[2]。

超声显微镜可以根据物体声学特性的差异来观察物体,给出物体的弹性象,能补充光学显微镜和电子显微镜之不足。目前工作频率达 4.2×10^9 赫,分辨率可望达到 500 埃。

在液态金属、电解液和等离子体中,已发现载流子同声波可以相互作用。

液氮中声波有多种传播方式。第一声是同普通流体中声波很相似的振动。 λ 过渡区的很多测量都要涉及第一声的衰减。第二声是在大容量液氮中传播的温度波和熵波。对超流氮的理解有主导作用。第三声是超流氮膜上传播的表面波,可以提供关于极薄“非饱和”膜平均超流密度的资料。第四声是超流体通过充满液氮细缝中的压缩波,是测定液氮超流成分最精确的方法。第五声是在液氮装在 superleak 多孔固体中的温度波。液氮中声波的研究不但对低温物理有重要意义,许多研究结果也有很大的应用前景^[3]。

声学与近代物理学的发展有密切的关系^[4]。例如近代物理中对分叉、混沌等非线性现象非常重视。这些现象在光学中要费很大的力气才能出现,但在流体力学和声学中却很容易出现。

这对非线性现象的研究有好处,我国学者在美国加州大学发现的孤粒子,就是明显的例子。

超声电子学是随着大规模集成电路的工艺同时发展出来的,在高频信号处理中起着重要的不可代替的作用。目前表面波器件发展最快。利用声表面波器件做成的延迟线、滤波器,利用声-声,声-光,声-半导体载流子相互作用做成的放大器、谐振器、卷积器、相关器、存储器、声光偏转等仪器,由于体积小、制造容易、性能优越而得到广泛的应用。

利用超声可以对重要的材料和部件进行检测,可以测量流量、温度、粘度等,在工业上有重要应用,对提高产品的成品率,节约成本,保证质量等起重要作用。国际上对超声在固体中传播、反射、散射进行了深入的研究,发展了探伤技术,特别是在伤的定量、显象和利用计算机提高检测能力方面做了许多工作。声全息的研究也受到很大的注意。对固体在塑性变形和伤的发生、发展过程中的声发射,以及位错发生和奥氏体到马氏体的转变中的声发射规律进行了研究,并用来作为检查材料的手段。岩石声学可以探测岩石的坚固程度对矿井桥梁施工、工程勘探起了重要的作用。

把超声检测方法应用到人体上可以进行颅脑、眼部、心血管、肝胆脾、泌尿、妇产科等多种疾病的诊断,并能对内脏或病变进行断层显示成象,有特殊的诊断效果。最近发展的计算机辅助的超声层析术有很好的效果。

高强度的超声产生机械效应、热效应、化学效应或生物效应,能改变物质的性能和状态,或加速某种过程,在技术上有些独特的优点。超声清洗、焊接、搪锡、加工、乳化、粉碎、分散、雾化、提取、金属成型等已成为工业中的新工艺,有独特的效果。油掺水、油掺煤超声乳化可以节能,改善大气污染。超声处理种子能提高发芽率。超声治疗(如粉碎肾结石)和外科手术等也有相当的应用。

随着工业与交通的迅速发展,噪声污染日益严重,噪声的机理、噪声的测量和噪声的控制

是这方面的主要研究课题。对气流噪声、冲击噪声、随机振动、振动的辐射方面的基础研究都有很多进展。在测量方法上,近年来着重声功率测量与声源定位的测量。在噪声控制方面,除制定标准和立法外,对飞机、地面交通工具和工业噪声控制的技术都有较大进展,噪声已有显著降低。各种吸声系统、吸声材料、阻尼材料、隔声系统、消声器、振动/冲击控制系统和主动噪声抵消系统都已大量应用。利用机器发出的噪声可以检查机器的故障。

语言声学、生理和心理声学近年来特别活跃^[9]。语言声学对人类语言产生、接收和理解等高级神经活动与思维过程的研究也有进展。随着计算机和大规模集成电路的发展,人们自古幻想的口语操纵机器,机器人讲话和阅读等已成为现实,并在一定范围内实际应用,如电话订火车票,声控手表等。声码器可使语言信息压缩几十倍,仍能保持很好的语音质量。

听觉的研究进展比较快,外耳和中耳的许多问题已经弄清,现有的大量工作集中在听神经和脑神经活动的空间和时间分布方面,听觉研究与其它感觉学科比较起来,已更接近生命科学的核心领域。在心理声学方面,人们发现人对声的感觉是与声强成幂数关系。对小信号检测,噪声中提取信号能力的研究也取得重要结果,这对理解脑神经的活动规律很有帮助。

高保真度的立体声录放系统,房间的声学设计,利用电子计算机的合成音乐,都达到较高的水平。

海洋中只有声波能远距离传播,因此水声就成为水下探测、通信、导航、遥感等最有效的手段。水声学的研究一方面是为了满足反潜战的需要,一方面也是海洋研究和海洋开发的重要手段。近年来对于各种水文条件下(包括声道、反声道)的声传播,有水平变化情况的声传播,内波、波浪和微观不均匀性、引起的声信号起伏,信号的多途径、频散引起的畸变,海中的混响、散射场,目标反射的谱结构,海底对声传播的影响,地声模型,海底识别,海洋噪声的机制及其特性的研究等都有很大进展。在水声

应用方面,各种用途的声呐都达到较高水平,有很强的探测能力。目前特别重视的是超远距离(几千公里)探测的声呐系统和高分辨率的声呐系统,对目标的识别研究也有较大进展。在海洋研究与海洋开发方面除用声波导航、定位、通信、遥测、遥控外,目前特别注意发展海洋声遥感,包括海洋声层析图、内波声遥感、海底地质的声学勘探等。利用声波探鱼,海道测量,地貌测量等技术在海洋开发中起着重要的作用^[6,7]。非线性参量阵波束窄,没有旁瓣,频率低,在探测中有独特的应用,近年来发展很快^[8]。

地层中的声波是研究地层内部构造、地震和地球潮以及预报地震的重要手段。利用矿井岩石破裂时的地声发射可以保证矿井的安全^[9]。大气中各种次声源如台风、雷暴、核爆炸等引起的次声可以传播很远的距离,近年来发展了大气中的次声及声-重力波的传播理论和声源监测技术,可远距离进行台风和核爆炸的监测。

三、国内声学研究现状

我国有组织地进行声学研究工作是从1956年十二年远景规划后开始的。我国在建筑声学、噪声控制、超声、语言声学、大气声学、水声学、电声学、音乐声学方面均有工作。有些工作获国家自然科学基金,有的工作获国家发明创造奖,受到国内外的重视。我国的声学研究工作与国防、国民经济、人民生活有密切联系,成果推广较快,在国家建设中起了重要作用。

在水声学方面,我们发展了浅海声传播理论,深海会聚区理论。建立了海底声学性质研究及用声学方法对海底底质分类方法的研究。开展了声场数值预报、简正波过滤、简正波与射线之间的转换关系、远距离混响、海洋噪声场、舰船噪声、声场起伏与内波的关系、海水声吸收、水下物体声反射等方面的研究,并进行了大量水声物理实验。浅海声场的工作有较大的创造性,受到国内外的重视,并获国家自然科学基金二等奖。

我们发展了高性能压电陶瓷、压电单晶、压电聚合物、夹心式高分子-压电陶瓷复合材料以及有关的吸收、阻尼等材料。发展了多种新型换能器和相应的换能器理论。

在水声信号处理方面,开展了极性相关、数字多波束、脉冲压缩技术、高速 FFT、高分辨力谱估计以及自适应技术等方面的研究。大规模集成电路及微计算机在声信号处理上的应用有很大的进展。

我们发展了水平及垂直鱼探机、浅地层剖面仪、各种测深仪、多波束测深仪、旁视声呐、声释放器、声学波浪仪、方阵水下全息系统等,并得到重要的应用。

在超声方面,我们开展了探伤方面的研究,包括探伤换能器和探伤仪的研制,缺陷的声散射场的光弹显示和理论计算等。研制了超声显微镜和光声显微镜。开展了地下岩石的声探测、粗晶粒金属探伤、超声石油探井等工作。发展了各种型号的超声探伤仪、测厚仪、流速仪、风速仪等。

在医学应用方面发展了多种诊断用的超声诊断仪,多普勒血流计,并在临床应用上取得了丰富的经验。在超声治疗、超声粉碎结石等方面应用也有不少工作。

进行了各种超声表面波器件的研制和理论研究。超声表面波器件得到广泛的应用。

开展了流体动力哨超声乳化、粉碎、雾化的工作,在燃油掺水,COM(油煤混合燃料)的制备中得到成功,有很好的节油效果。

在超声加工处理方面,超声清洗、处理、钻孔、焊接、搪锡、冷拉钢管等取得很好的成果,用超声照射处理粮食、中草药种子得到很好的效果。对进行超声加工处理用的换能器、变幅杆等进行了研究。

高频声子、分子声学、液氮中的超声等方面的研究也有进展。

在语言声学方面,进行了汉语的分析,包括元音、辅音、声调、共振峰的研究。开展了语言清晰度及语言知觉特性的研究。

开展了用计算机合成汉语发音的研究。利

用小型计算机和微机完成了语言识别系统,对单呼语言有较高的识别率。

在建筑声学和噪声控制方面,进行了各种厅堂音质的设计,开展了房间声场、第二音质评价标准等方面的研究,建立了模型实验,成功地完成了不少厅堂的音质设计,研究设计了多种吸声材料与结构、消声器、隔声罩、隔声机构等。对气流噪声有深入研究,并获国家自然科学奖三等奖。对大工厂进行了噪声调查和综合治理。对城市环境噪声进行了系统的调查研究并提出了标准。

在大气声学和地声学方面,我们研究了大气中声传播规律,进行了台风、核爆炸等次声信号的监测,研制了高灵敏度的地听器,并测到了震前地声。

我们研制了各种传声器、扬声器、耳机、助听器、拾振器、电声系统、声学仪器,建立了声学测量标准。对电声理论和立体声理论方面也进行了研究。研制并生产了声级计及多种声学仪器。

四、发展前景

声学是应用性很强的学科,因此,声学学科的发展就不能不比其他物理学科更受社会直接需要的影响,对社会贡献也更直接。

声学与其他学科互相渗透。有关学科(如微电子学和微计算机,新型功能材料)的迅速发展和重大变化,会在声学中引起大的反响,大大促进声学的发展,反过来声学对新的工业革命也将会重大的影响,如第五代计算机、信息革命、机器人等的发展都离不开声学。

声学研究在国内有一定的基础,有相应的指导力量和骨干力量,有迅速发展的条件。声学是物理学中的“轻工业”,有一定的设备条件就可以发展。从上述几点看来,声学应该大力发展。

可以设想,在1990年以前,声学将发展已有基础的分支学科,加强和填补薄弱或空白的分支学科。大力加强应用研究,着重解决与信

息科学、能源、环境、海洋开发、材料等方面的关键重大问题：如声遥感、声探测、语言和声信息处理、语言机器、超声处理和节能技术、噪声控制、新型声传感器、超声电子学、生物医学超声等，努力为国民经济和国防作出贡献。继续重视基础研究，着重听觉理论，超声与物质微观结构的作用，超声的传播、反射和散射的规律，非线性声学，声在海洋、大气和地壳中传播的规律，噪声源的研究，声对物质的作用机理，努力提高研究水平，力争在本世纪末，声学的一些主要分支学科在研究力量和贡献方面达到国际先进水平，对学科的发展作出重要贡献。一般的分支学科能跟上国际上的步伐，满足国内的需要。

从学科角度来看，应着重发展超声学、水声学、噪声控制、语言声学，填补生理声学、心理声学方面的空白，相应地发展建筑声学、大气声学、电声学、音乐声学等。

在研究工作的基础上，加强声学方面的仪器和设备的研制和生产，力争在较短期间内，能满足国内需要，在国际市场上有竞争能力。

重要的课题：

(1) 噪声控制：今后应着重研究气流、振动辐射、冲击等噪声的产生机理，研究声源定位和利用噪声和振动监测机器质量和故障的方法，研究控制噪声的新方法和新技术，研究环境噪声的标准、立法等。

(2) 心理声学和生理声学：应着重研究听觉神经系统，研究感觉细胞的机械变形到神经脉冲的产生过程，对于听觉神经的信号如何传给脑神经，以及脑神经的感知问题，争取有所突破。

(3) 语言声学：随着计算机和大规模集成电路的发展，人工合成语言、机器识别语言发展很快。目前面临的问题是要扩大词汇，建立连呼和不依赖发言人的识别系统。合成语言也要加强自然度。要对语言和人语言的知觉特性有更深入的研究。在汉语特点和汉语知觉特性方面的研究工作理应由我国科学工作者完成，这是责无旁贷的。争取第五代计算机在实现人

物理

机通过语言进行对话和语言打字方面有更大的突破。

(4) 超声：今后着重研究超声在固体中的传播、反射、散射的规律。同时要发展各种新的探伤技术(包括声发射技术)。一方面要解决困难的物体(如粗晶、人体)的探伤；另一方面要进行更细微的观察(如超声、光声、电子声显微镜观察)，并使用计算机辅助，以得到更多的信息量，达到自动化，获得定量和成象等结果。

(5) 特超声：将着重研究声子与物质微观结构的相互作用，为了解物质微观结构提供手段。

(6) 超声电子学：发展新理论和新器件，为高频电子学的信号处理提供新的手段。

(7) 超声对物质的作用：着重扩大应用面，寻求新的应用，争取在节能方面，如COM燃料、油掺水、水煤浆等的超声制备方面做出成绩。与物理、化学、生物等学科密切结合研究超声作用机理，包括对生物作用的机理。

(8) 海洋、大气、地壳中的声传播及应用：为此要研究声在海洋中传播的规律，研究利用声波的变化遥感海洋环境的方法，如海洋声层析术，海底地貌声遥测等。研究远距离探测和近距离高分辨的探测和成象技术、声全息技术，发展水下通信、定位、动态定位、井口重入等技术。研究相应的信号处理技术、换能材料和换能器技术。开展声在大气中传播和次声探测技术的研究。开展深地层探测技术、三维地震勘探技术和岩相法方面的研究。

(9) 电声学：加强新型电声器件，如硅片、高分子薄膜和光纤换能器的研究，形成集成传感器。研究高质量的激光录音、数字录音、放音和传输系统，把音质推向新的水平，以满足人民文化生活的需要。

本文的内容，曾征求过国内不少专家、教授的意见，在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Physics Survey Committee, *Physics in perspective*, (下转第 534 页)