

声学与海洋开发¹⁾

汪德昭

(中国科学院声学研究所,北京 100080)

本文对声学技术在海洋探测、海洋开发以及海洋学研究工作中的地位、作用、应用现状和前景作了阐述,同时也对我国科学工作者在这方面作出的成就和贡献作了扼要介绍。

开发海洋和探测海洋,是人类向海洋进军的宏伟目标之一。为了有效地向海洋索取财富,征服海洋,除了应该深入研究海洋的物理过程、化学过程和生物过程外,还必须大力研究和开发海洋的工程技术。很显然,缺少这门工程技术,就不大可能去征服海洋和掌握海洋财富。

由于国防的需要而发展起来的水声技术,在利用和开发海洋中是大有可为的。海洋中的底质、地层、地貌、测深、定位、目标探测、识别、通信、导航、遥控、内波、寻找油气、开发矿产、海洋内部及海底的遥感等一系列问题,都可以广泛地利用水声技术。我们必须认识到水声学在研究和开发海洋方面的巨大潜力,水声学的理论和技术是向海洋进军的必要武器。

几年前由联合国教科文组织召开的“2000年海洋学”的座谈会上,各国专家一致认为,声学和海洋学是一对最亲密的“伴侣”,相互渗透,相互影响。由于它们的亲密合作,从而诞生了一个新的分支学科,“海洋声学”。大家知道,海洋环境因素和它的变化对声波在海洋中的传播有重要影响,因此研究海洋变化对声波传播的影响就成为海洋声学的主要课题。60年代后,一些水声学家和海洋学家基于海洋声学所得到的海洋变化和声场的关系,开始利用水声技术作为工具来研究海洋的结构。可以说海洋声学的主要内容有两个方面,即海洋环境对声场影响的“直接问题”和由声场导出海洋结构的“逆问题”。在“2000年海洋学”座谈会的总结报告里,采纳了我国声学家的建议,增加了用声学手

段研究海洋一个章节。

水声学为何能够和海洋学很好地结合呢?水声技术在海洋开发中有哪些应用?它能产生的经济效益如何?水声技术能否在学术上或其它领域作出贡献?这些都是人们所关心的问题。

关于这两门学科能够很好地结合的问题,简略地说,是由于声波为目前唯一能够在海水中作远距离传播的一种辐射形式。至于水声技术在海洋开发和研究中有哪些应用,内容就太多了,我们只能举一些例子作概括的说明,并对个别应用作较多的叙述。水声技术可应用于以下方面:

(1) 监测海洋污染

用水声反向散射仪记录声散射强度,作为废物聚集度的度量,画出等散射声强图及其随时间发展图,并可求出废物扩散速度和稀释度率等。

(2) 测绘海底地貌

可以发现沉船和其它障碍物,主要仪器是旁视声纳。中国科学院声学研究所研制的旁视声纳,在中、日铺设的海底电缆工程中,起到很好的作用。

(3) 鱼群探测

判断鱼群的品种和组成,估计鱼群的大小,跟踪鱼群,以便指导捕鱼活动,保护渔业资源,中国科学院声学研究所研制的鱼群探测仪,渔业公司应用后使捕鱼量大幅度增长。

1) 本文是作者在全国海洋工程学术讨论会上的发言。

(4) 渔业管理

可以研制“声学屏障”，防止海水养殖场鲨鱼的人侵，阻止龙虾鱼类的外逃。用水声学技术诱鱼、捕鱼，在我国也有很大发展。

(5) 探测海底浅层沉积物分层结构并绘出剖面图形

适合于港口工程建设，石油平台的安装，航道(包括江河湖泊整治，测定港湾泥沙淤积)，海底管道铺设以及大陆架地质调查。中国科学院声学研究所东海站研制的浅地层剖面仪，在国际上是很先进的仪器。

(6) 探测深海海底分层结构

中国科学院声学研究所东海站研制的深地层剖面仪，能在海深6000m处工作，可穿透海底500m。

(7) 开发浅海石油

利用浅海浮游生物的声散射，有可能开发浅海石油。

(8) 指导巨型海轮安全靠岸

中国科学院声学研究所研制的靠岸声纳，应用微机技术，性能先进，在我国某些码头安装使用能自动跟踪测距，并自动记录靠岸过程全部数据，给出的速度、航向及角度等参数准确可靠。

(9) 进行破坏性海啸短期预报

海啸多半起源于海底地震、火山爆发，通过其低频声波先期到达接收系统，可进行预报。

(10) 声线轨迹及声速

中国科学院声学研究所东海站研制的声线声速仪已走在世界先进行列。

(11) 测定石油井口位置

利用释放器、应答器及信号器，可以精确地指出石油已封闭的井口位置，还可指示水下测量仪器和潜水器距海面的深度，距海底的高度和距母船的距离。

(12) 船舶动力定位

由于船内的补偿装置以及海底安置的应答器，船只在海上稳定不动，不受风浪、水流、潮涌的影响。目前各国动力定位系统原理(补偿系统)各不相同，名目繁多，例如法国就有三、四种

之多。在水下布设多个信标，即可确定船的位置。我国国家海洋局海洋技术研究所研制的指令、应答、释放系统已能可靠地在1000m深度以内使用。

(13) 救援发生事故的潜艇

救援的关键是救生艇下部的接口必须和潜艇的出口准确对接。我国声纳技术已较成熟，能够实现准确对接并一次成功。

(14) 海洋参数自动测量

自动记录系统投入海底，按预先确定时间记录后，由工作船发出指令，启动释放器，系统上浮。另一类型为工作船接收水下系统传递的信息，例如水下油井的压力、流量等，测量后可用声学遥测设备把数据传至水上，并可从水上控制，在发生事故时用声学指令系统操作安全阀。

(15) 内波测量

内波对声信号传播有重要的影响。国外在这方面做了大量工作，但他们的对象是深海。我国的科学家首先发现了我国浅海内波，从大量的观测资料中(五年的观测)，又发现了浅海温跃层内波的时空特性，提出了内波传播理论，还发现了内波是温跃层声起伏的决定性机制，从而否定了过去的温度微结构学说。这些工作不仅填补了我国“内波学”的空白，而且使浅海温跃层内波研究达到国际水平。

(16) 导航测速和记程

利用声学多普勒效应，可以为船舶导航、测速、记程，还可以在船舶上测量海底流速垂直剖面。

(17) 测量海流

利用声脉冲顺流和逆流传播的声速差，可由测频、测相法测量海流矢量。用这种原理制造的海流计没有转动部分，适于在近海表面有波浪影响的水层中工作。利用这一原理，还可以测管道内的流量。海洋技术所已研制成功。

(18) 测海底沉积层

我国国家海洋局海洋技术研究所研制了沉积物声速、声阻抗的自动测量仪器，可装在采样器上一同使用，以了解沉积层的性能，判断其种

类。

(19) 监测大面积海洋特性

在大面积(例如 100 万平方公里)海域中布设一定数量的声源和水听器,测量各种组合声源-水听器对之间的声线传播时间及其起伏,可以由此推算出声线所经过的海洋空间的一些参数,如声速、温度、密度的剖面及它们的变化。此方法称为海洋声学层析法,引用医学术语又称作水声 CT 法。

(20) 海洋声学遥感

非声学海洋遥感(雷达、微波、红外及卫星等)的共同缺点,就是不能穿透到海洋内部,而只有声波可以穿透到海洋深处,因而能用来测量整个空间和海底的参数,这是其它非声学遥感所做不到的。声学遥感这一独特优点对于了解海洋内部的结构和现象,如海流、内波及海洋资源等尤为重要,因此声学遥感很有优势,但也有一些缺陷,就是常常不能给出定量关系,有时对测量的记录作出准确解释有困难。从发展前途看来,声学遥感还不能代替非声学遥感,而是配合使用,相辅相成。声学遥感已经或有可能应用于海洋气象和气候研究,渔业,污染监测,海洋流体过程研究等。

还可以举出很多的例子,但这并非水声技术应用用于海洋开发的全部内容。

为了说明经济效益和其它贡献,我们可以用“浅地层剖面仪”和“深地层剖面仪”作为例子。地层剖面仪是根据回声测深原理构成的探测仪器,由于强功率低频声源和声信号处理技术的发展,使得应用声学方法探测水底以下数十米至上千米的地层构造成为可能。我国研制成功的浅地层剖面仪,在技术上有很大的发展,如时变滤波技术、抵消基阵余振技术都是国际上独创性的工作。几年前曾和国际上最出名的产品进行性能对比,证实了我国剖面仪性能要比它们优越得多,特别是在消除外界干扰和图象清晰无假影方面。更可贵的是,国际上只有我国的剖面仪能在 2m 深的浅水中工作,这是目前世界各国产品所不能办到的。

关于剖面仪在学术等方面所起的作用,我

想引用中国科学院南京地理研究所专家孙顺才同志在该仪器鉴定会上的发言摘要:

“……长江中下游地区,是我国著名的鱼米之乡,这里湖泊星罗棋布,研究这些湖泊的底质情况及环境变化,对于认识这些湖泊的形成演变,预测发展趋势,更好利用和开发湖泊的资源,是十分重要的。

然而长期以来,人们在研究这些湖底沉积时,仅能利用船只在湖底表层取得数厘米至一米多厚的泥样作分析,难以深入了解湖底结构,即便是在湖底架设平台打钻,也只是一孔之见,难以得到湖底沉积发育的空间概念,而且还得花费很大代价,致使不少基本研究工作难以深入。外国学者为克服这一困难,曾广泛地使用了‘地震剖面仪’,‘汽枪 (air gun)’,‘单声源地震仪 (UNIBOOM)’等各种类型仪器,但是这些都必须在一一定的深水地区,如湖泊水深必须在 30—50m 以上,而且还必须附随有较大的动力源,其所提供的湖底地层探测记录,即它的分辨率通常在 5m 以上。然而,现代湖泊泥沙沉积速率通常只有数毫米至一、二厘米,这样就大大掩盖了湖泊环境变化过程,特别是近代过程,而这些又正是研究现代湖泊如何利用时所要知道的。

针对我国实际研究工作上的这一薄弱环节,中国科学院声学研究所东海站科研人员,在充分吸取国外仪器经验的基础上,结合我国湖泊的实际情况,成功地研制了 GPY 型浅地层剖面仪。经过三年来在我国深水湖及浅水湖试验,均取得了明显效果,特别是在平均水深仅 1.89m,最大水深 2.6m 的太湖,取得了能够穿透 40m 深度的沉积地层记录,而且可分辨数十厘米内的地层结构,提供了十分可贵的信息。在云南深水湖的测试中,地层记录可以清楚地显示出湖盆地是发育在一个构造断裂带上,近代构造活动十分强烈,现代沉积层被强烈的褶曲扰动,其幅度达数十米,并伴有一系列现代断层,表明这里曾经历过不止一次的强烈的地震活动。例如 1877 年这里就有过 7.6 级地震,湖滨邻近村庄陷入湖中,结合地层学分析,不仅可

以判别构造活动强度和作用力的机制,而且可以判别发生的时间和频率,特别是活动频率,为研究和预报地震提供了很好的证据。……湖底沉积层中埋藏的古山地地形,岩溶洞穴及所盖藏的丰富的地下水情况,地下水沿着裂隙在湖底喷发的现象,这些都为研究地下水分布和湖泊水资源提供有力的帮助。

在水深仅 2m 的太湖探测记录中,清楚地显示出太湖湖底是由坚硬的黄土基质组成,在湖底黄土层之上,有许多被埋藏的河道和浅洼地。这就清楚地表明,太湖过去并不是一个海湾和泻湖,而是一个黄土覆盖的冲积平原环境,从而为解决长期以来学术界所争论的太湖成因问题提供了有力的证据。记录中还清楚地表明,不同时期的沉积层序、厚度及沉积速度率,各个时期所埋藏的古河道与古地形,为恢复和重建太湖平原的古地理提供了可贵的资料。同时,还明显地出现了湖底沉积物中所含的有机质,在埋藏条件下所形成的天然气体分布和扩散情况。GPY 浅地层剖面仪在探测长江底质中亦同样取得良好效果。它清楚地反映出江底砂洲分布,变化砂波的运移及长江河道变迁等。这就为河道整治,港口建设提供了有力帮助,几条地层剖面测线,可以节省钻孔费用,节约大量工程投资,而且还可使钻孔设计和施工位置建立在可靠的基础上,……”中国科学院南京地理研究所所做的工作是十分出色的。

关于经济效益问题,现引 1983 年交通部水运规划设计院叶思正同志论文(题目为《浅地层剖面仪在海港工程地质勘察中的应用效果》,见《工程勘察》,1983 年,第 4 期,第 543 页)中的几段:

“实践证明,利用浅地层剖面仪进行水下浅地层的工程地质勘测,无论在经济上,时间上以及资料质量上,都可以取得较好的效果,特别是在海上情况恶劣、勘测范围广大和地形复杂的地区效果尤其显著”。

20 年前,对湛江港航道曾动用大量人力、物力,花费了三年时间进行扫礁工作(尚未进行钻探),而本次探测(包括钻探)仅用三个月时

间,投入总人力不过五六十人,总费用 26 万元,其中钻探费用即占 18 万元,且钻探工作量是在已有浅地层剖面探测资料的基础上确定的,否则按有关规定布孔钻探费用预计达 65 万元之多,还应当指出,即使钻孔布置得再多,也不能得到类似浅地层剖面探测所得这样连续、逼真的地质剖面图。

通过本次勘测证实,20 年前所确定的礁石区其实并非‘礁石’,因此原工程预算的 1.4 亿元炸礁费用,现改为 0.07 亿元的挖泥费就够了,这不但使该港建设深水泊位成为可能,而且为航道疏浚节省了大量人力、财力和时间。

DDC 1 深地层剖面仪是开发海洋的大型水声设备,原定指标为海深 3 000m,穿透海底 200m。1984 年 7 月,中国科学院声学研究所上海站和国家海洋局第二研究所协作,在太平洋实测应用中,竟在海深 6 700m 处,穿透地层 500 m,大大超过了原定指标,并且第一次探测到琉球海沟(6 700m),创造了我国深海地层探测的历史记录!不仅如此,在国内还首次获得了东海大陆架斜坡的地层剖面图。在国际领海界线划分如发生争论时,为我方提供强有力的证据,这也可以认为是水声技术为外交领域作出贡献的一个例子。类似这样的高级水声设备,国际上也是不多的。该设备在开采海底矿藏时,也可以发挥作用,例如国家海洋局第二研究所使用该设备在中太平洋锰结核综合调查中,取得了很好的效果。

建国以来,我国海洋科学发展很快,取得了很大成绩。大规模的全国近海普查,远洋调查,各种专题调查以及其他现代化海上自动数据传递设施,为海洋科学积累了大量系统资料,取得了不少有水平的研究成果。在近海环境结构、水团分析、潮汐、波浪、海洋化学以及生物等方面,有不少新的发现,并提出一些新方法、新理论,特别是中国科学院声学研究所和国家海洋局海洋技术研究所研制了许多水声和海洋仪器设备,有力地支援了我国的四化建设。例如,声学测波仪适用于在近岩浅海测量波高和波周期,采用计算技术后,可以直接输出有效波和最

非线性声学概述

钱 祖 文

(中国科学院声学研究所,北京 100080)

本文扼要地介绍了非线性声学中大家关心的内容,包括冲击波的形成过程、声参量阵的主要特性、非线性参数和三阶弹性常数、空化和声辐射压力、声学中的混沌现象及孤波等问题。

如果在远处爆炸一颗原子弹,除了粒子和光辐射的影响之外,还有冲击波对人产生伤害,

那么冲击波是如何形成的呢?这就涉及到非线性声学这门分支学科。

大波等海洋开发可直接应用的信息。该仪器特别适用于测量长周期波浪,在毛里塔尼亚努瓦克肖特港建设中,测出周期为 206s 的波浪,解决了西方没有解决的建港问题。该所提出利用不同频率声波在深海海底沉积物表面及不同直径锰结核上的反射波的不同,设计多频测深仪,由美国雷声公局根据此设计思想制成设备,在太平洋 5 000m 深海盆中探测到大面积的锰结核富集区。更可喜的是,在老专家带动下,一大批能打硬仗的中青年海洋科技队伍正在茁壮成长。

把海洋开发利用当成基本国策。在我国,国家海洋局在太平洋配合我洲际导弹试验测量重磁、水文及气象,与美国合作在西太平洋实行长期的 TOGA 计划,研究海气交换,对分析全球气候,预防厄尔尼诺等灾害性天气都有很大作用,在南极洲乔治王岛建立我国第一个试验站——长城站,并在南大洋进行综合调查。与日本合作,进行多年黑潮调查。与法国合作,进行围隔生态研究。

另一方面,我国目前在水声方面,有一支实力相当雄厚的理论队伍、技术队伍和设计制造队伍。这两路大军的汇合,就为我国海洋开发具备了优越的技术力量。

在国家海洋局组织下,我国进行了全国海岸带调查,海洋能源普查,建立了全国污染监测网和水文气象数据浮标网、沿海台站水文气象监测网。

我国的渤海、黄海、东海及南海总面积约 470 万平方公里,海岸线长 18 000 多公里,横跨热带、亚热带以及温带,气候条件适宜,自然条件优越,资源非常丰富。我国海洋渔场面积约 22 亿亩,海洋水产年产量达 300 多万吨,海洋石油储量丰富。西方专家说:“中国的海洋经济开发如获成功,将会对中国经济结构产生巨大的影响,中国能源工业最终可能超过美、苏。”我国海洋能源仅潮汐能一项,可开发量约 3.5×10^7 kW,目前利用的还不到三千分之一。我们辽阔富饶的海洋的开发利用,对整个国民经济的发展具有非常重要的战略意义。一些国家已

我国建立了海洋标准计量中心,温度、盐度、压力标准及测试设备已达到世界先进水平,如研制的精密电导率比测试设备和系列标准海水都达到 1978 年国际实用新盐标的要求,得到权威专家的称誉。温盐槽和 1 000 atm 压力试验容器都具有世界水平。

中国科学院各海洋研究机构也做了大量的创造性的工作,为我国海洋事业作出很大贡献,限于篇幅,这里就不叙述了。

海洋开发已为日本以及其它一些国家列为高技术项目之一。根据我国海洋队伍和水声队伍的实力以及我国具体情况,早日将“海洋开发技术”列为高技术,瞄准国际上这方面的发展前沿,积极跟踪,我们认为是很有必要的。