

的 B/A 值,值得注意的是表中打了星号的三个数据是从同一个牛肝上取得的,显然,数据有较大的差异。这些差异是实验误差引起的还是其固有特性?如果是后者,表示这一生物组织存在非均匀性以致非各向同性,从而牵涉到动物组织是否能用(1)式的简单液态方程来描写?这种差异有时会带来误诊,这就要求对动物组织的力学模型作些相应的研究。

与其它探测问题(例如地球物理探测)一样,非线性超声探测是将被探测介质的 B/A 信息调制在接收信号的场值中,故反演技术成为提取信息的关键。尽管解卷积技术已在地球物理探测中广泛采用,但不应排除研究更适合于本学科且有针对性的技术的可能。

表 5 有限振幅声波法测得的生物组织的 B/A 值

样品	声速 (m/s)	密度 (g/cm ³)	B/A
牛肝	1588	1.05	8.0
	1599	1.05	7.5
	1596	1.05	7.5
	1610	1.05	8.9*
	1632	1.05	6.2*
	1620	1.05	7.9*
牛脑	1548	1.03	7.6
牛心	1566	1.05	6.8
	1570	1.05	7.4
猪瘦肉	1593	1.07	7.5
	1607	1.07	8.1
猪肥肉	1439	0.98	11.0
	1455	0.93	11.3

文献[13]成像法实质上是与声散射声问题相联系的,该方法的原理还要进一步深入研究(R. T. Beyer, Nonlinear acoustics, 1974.)

参 考 文 献

- [1] 王竹溪,热力学,高等教育出版社。
- [2] Beyer, T. R., *J. Acous. Soc. Am.*, 32(1960), 719.
- [3] Rudnick, I., *J. Acous. Soc. Am.*, 30(1958), 564.
- [4] Coppens, A. B. et al., *J. Acous. Soc. Am.*, 38(1965), 797.
- [5] Sehgal, C. M. et al., *J. Acous. Soc. Am.*, 76(1984), 1023.
- [6] Zhu, Z. et al., *J. Acous. Soc. Am.* 74(1983), 1518.
- [7] Law, W. K. et al., *Ultrasound in Med. & Biol.*, 11(1985), 307.
- [8] Rudenko, O. V. and S. I. Soluyan, Theoretical Foundations of Nonlinear Acoustics, Translated by R. T. Beyer, Consultants Bureau, 1977.
- [9] Gong Xiufen et al., *J. Acous. Soc. Am.*, 76(1984), 949.
- [10] Law, W. K. et al., *J. Acous. Soc. Am.*, 69(1981), 1210.
- [11] Dunn, F. et al., IEEE Ultrasonic Symposium (IEEE, New York, 1981), 527.
- [12] Khimunin, A. S., *Acustica*, 39(1978), 87.
- [13] Cobb, W. N., *J. Acous. Soc. Am.*, 73(1983), 1525.
- [14] Cain, C. A. et al., *J. Acous. Soc. Am.*, 80(1986), 685.
- [15] Ichida, N. et al., *Ultrasonic Imaging*, 5(1983), 295.
- [16] Sato, T. et al., *Ultrasonic Imaging*, 7(1985), 49.
- [17] Ichida, N. et al., *IEEE Trans.*, SU-31(1984), 635.
- [18] Cain, C. A., *J. Acous. Soc. Am.*, 80(1986), 28.
- [19] Nakagawa, Y. et al., Acoustical Imaging, Vol. 14, 1985, ed A. J. Berkhout et al., Plenum Press New York and London, 959.
- [20] Westervelt, P. J., *J. Acous. Soc. Am.*, 35(1963), 535.
- [21] 钱祖文,物理学报, 30(1981), 1479.
- [22] 钱祖文,物理学报, 30(1981), 1559.
- [23] 钱祖文、邵道远,物理学报, 35(1986), 1374.
- [24] Bjørnø, L., *Ultrasonics*, 24(1986), 257.

声呐技术在水下机器人中的应用

朱 维 庆

(中国科学院声学研究所)

1986 年 10 月 7 日收到

自从世界上第一艘水下机器人(又名无人遥控潜水器,于 1953 年问世后,随着海洋工程、海上石油开采、救助、打捞、水产养殖和海上军事工程等的迫切需要,水下机器人得到迅速的

发展。信息科学、计算机和电子科学、自动控制学和声学的进展使水下机器人的功能日臻完善。目前在世界各个海洋工程水域,特别是海洋石油开发区,大量的水下机器人在工作。

电磁波在水中衰减很严重,许多工作要由声波来完成,水中的声呐就如同空气中的雷达那样,显得愈来愈重要。

水下机器人必需有一双锐利的眼睛,发现和识别水中或海床上的目标,以完成各种操作。一般水下电视的观察距离在五米左右,再远就要靠图象声呐了。目前世界上性能优良的图象声呐有如下几种。一种是加拿大 Mesotech 公司的 Model 971 声呐,它用一个细长的换能器产生波束,垂直束宽 $\theta_{\perp} = 60^{\circ}$, 水平束宽 $\theta_{\parallel} = 1.8^{\circ}$; 由步进电机驱动换能器,可在多种方位,以三种步距,在数种角宽内进行扇扫,还能圆扫和侧扫,形成声象;显示的图象有 128 个灰阶,标称最大作用距离 100m, 在水中重量为 3.6kg (约 35.4N), 因声功率过小,作用距离不远。另一种是英国 UDI 公司的 AS360MSI 声呐,功率体积较大,它的显示只有 8 种彩色,波束间有明显的间隙。中国科学院声学所和科理公司研制成了彩色图象声呐,功率比 Model 971 大 10 多分贝,体积稍大,其它指标与 Model 971 相同。声学所采用 IBM-PC 计算机做主机,用与它配用的高密度图象板构成显示器,因此可以加上众多的图象处理软件,这是它的一大优点(其它两种声呐需进行相当大的改进才能有此功能)。图象声呐的水下部分装在水下机器人上,用一根屏蔽的双绞线或同轴电缆与母船相联,声信号和各种指令信号分时、分频在线上传输,计算机和显示器安装在母船上,操作员根据屏幕显示的声象就可以知道水中的情况。操作员需经过一定的培训才能正确理解声象。

海上施工时往往需要知道海底的准确高度。把声象声呐的换能器换成圆片换能器就成为一部良好的小型多波束声呐。圆片换能器形成窄的圆锥波束,它在马达驱动下在一个角宽内转动,不断发射,不断接收,测出时差,求出距离,再经适当计算即可求出高度和水平距离。机器人在航行时可不断测出与航道垂直的平面内一定宽度海底上许多点的高度。中国科学院声学所的小型多波束声呐和 Model 971 声呐都有此种功能。

在一些大型的水下机器人上,有时装上船用侧扫声呐,以使在较长的距离上观察海底。

目前的图象声呐还有一些缺点,其主要缺点是成象速度较慢,它必须等待上一波束工作完毕后再发射下一波束。因此世界上各国,主要是美国的一些公司正在研制能用于水下机器人上的脉冲内扫描声呐,用电子方法形成波束,并在一个脉宽内扫描一次,这样就可能快速形成海底和水中声象。中国科学院声学所也在研制这类高分辨率声呐。中国科学院东海研究站把超声诊断仪的技术用于水下,正在研制 20m 内的甚高分辨率的图象声呐。

水下机器人航行时在各种力的作用下要产生摇晃,最好的解决方法是用多普勒声呐测出它的 V_x 和 V_y , 如果需要也可测出 V_z , 这些信息反馈给母船上的主控器,再控制机器人的各种推进器,使机器人平稳前进。多普勒声呐一般有四个波束,多是采用锁相环原理,测出频移后,再求出速度。现在有多种模拟锁相环芯片可供使用,性能优良,价格便宜。一般把这种声呐称为模拟多普勒声呐。这方面代表性产品是美国 Ametec 公司的产品,它体积甚小,可装在水下机器人上。在干扰较大时,锁相环有时会失锁,产生测量误差。近年来引入数字信号处理技术,研制数字多普勒声呐。它的抗干扰能力要优于模拟多普勒声呐。由于近年来各种高档数字信号处理芯片的迅速发展,这是很有发展前途的多普勒声呐。它很容易发展成多普勒流速剖面声呐,可以测出几十个距离分辨元内的流速,当然也能测出水下机器人相对于海底的速度。这种声呐对信号处理理论、电子技术和计算机技术有相当高的要求。这是近数年来新发展的一种声呐。中国科学院声学所正在研制模拟多普勒声呐、数字多普勒声呐和多普勒流速剖面声呐。

水下机器人的位置和航迹是用定位声呐确定的。定位声呐分长基线、短基线和超短基线声呐,其中超短基线声呐应用最多。超短基线的基阵相当小,安装在船上,机器人上部装有声信标或应答器,一般采用相位差原理定出水下

机器人相对于母船的位置。目前国际上用得较多的有四种, RS—7, RS/902 和 RS/904 数字式水声位置参考系统(霍尼韦尔公司, 海洋系统部), AMF301 型测距测向水声定位器(AMF 电气产品发展部); Wesmar SS201S 声呐跟踪系统(韦斯马海洋系统部); AUTRA-NAV MAK-3(综合海洋技术公司)。中国科学院声学所东海研究站研制成了 BR-01 超短基线定位声呐, 定位精度 3%, 作用距离 300m。目前正在研制定位-引导-对接声呐。它不但可以对水下机器人定位, 而且还可以把机器人引导到失事的船只, 使机器人与失事船只的某些舱位对接, 救出人员。

水下机器人又名有缆无人遥控潜水器, 它有一根称作脐带的中性浮力电缆。在地形复杂的情形, 电缆有时会被障碍物挂住, 这往往是事故发生的重要原因。因此美、法、加等国竞相研制无缆水下机器人。工作已进行了不少时日, 但至今没有一个实用的系统, 这是有相当难度的高技术课题。如不用电缆传输信息, 声波作为载体传送信息是唯一切实可行的方案。海洋信道是一个复杂的信道, 且不说它的多径、色散和时变特性, 它的有用带宽也远小于电缆。因

此除了研究在一定的体积、重量和电功率损耗的限制下如何提高声信道的波特率外, 还要设法压缩各种信息。电视图象和声图象的信息必须大量压缩, 传输到母船上后, 要恢复到能使用的程度。各种指令也要大量压缩。随着现代技术的发展, 这一难题的解决已呈现有望的前景。中国科学院声学所和沈阳自动化所等单位在联合研究这一课题。

由上面的简短介绍, 我们可以看到声呐技术已成为水下机器人的愈来愈重要的组成部分。随着向海洋进军的深度和广度的增加, 水下机器人愈加显示出它的重要性, 愈加会得到迅速发展, 声呐技术也会得到迅速发展。美国研制声呐的主要七家公司中已有五家把相当大的力量投入研制供水下机器人用的各种声呐设备。我国有着广阔的水域, 其中蕴藏着丰富的资源, 特别它是世界上有数的最有希望的海上油田之一, 这些都会对水下机器人产生愈来愈大的需求。我国对水下机器人的研制、开发和生产给予了足够的重视, 声呐技术的发展已放到了重要位置。中国声呐技术的迅速进展已引起了世界上一些水下机器人制造公司的重视, 这会更加促进我们的工作。

(上接第39页)

dB/s 左右, 在最佳消声点附近, 其下降速度约为 20dB/s, 这就是说, 当外界条件有变化, 引起消声指数的下降时, 系统能以这个速度加以修正, 使下游保持最佳的消声状态, 我们把这个速度称之为跟踪速度。

微机程序中采用动态跟踪的方法, 找到最佳消声点后, 微机仍处于动态搜索之中, 它能保证系统随时跟踪外界条件的变化, 在下游把噪声消到本底, 或比本底高 1—3dB 的水平, 本系统的消声效果见表 2。

五、结 语

自动控制技术引入有源消声, 使消声自动化, 是今后有源消声的发展趋势。微机作为控

制手段引入有源消声, 避免了以往用微机进行频谱分析带来的响应过慢的问题, 这种结构的有源消声系统, 对微机性能要求不高, 结构简单, 有一定的实用参考价值。

作者在工作中得到了严志华、胡春年、林清波等老师在实验器材及方法方面的大力帮助, 谨在此向他们表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Ross, C. F., *J. Sound and Vibration*, 80-3(1982), 373—380.
- [2] Ross, C. F., *J. Sound and Vibration*, 80-3(1982), 381—383.
- [3] La Fontaine, R. F. and I. C. Shephend, *J. Sound and Vibration*, 81-3(1983), 351—362.
- [4] 沙家正等, 应用声学, 3—3(1984), 27.