

海底声学探测与底质识别技术的新进展

王润田

(中国科学院东海研究站, 上海, 200032)

摘要: 本文介绍了海底声学探测与底质识别技术的现状及最新进展。重点介绍线性调频声纳(CHIRP)技术和非线性调频声纳技术(参量阵声纳)在海底沉积层结构、海底地形地貌探测及其在海底沉积物的底质属性分类识别方面的应用。并简要介绍国内外在线性和非线性调频声纳技术及用于沉积物属性识别方面的最新专利技术或最新进展。

Abstract: Some new progress for detecting the geological formations and sediment properties by acoustic signal are presented in this paper. Linear or non-linear modulate frequency sonar and their applications in detecting the geological formations and classifying seafloor sediment properties are introduced. The newest patent and three kind of non-linear sonar used in classifying seabed sediment by its acoustic parameters are also show in the article.

1. 引言

海底探测是一个经典课题,也有多种手段。最为常见也是最可信的是通过机械钻孔等手段直接取得海底沉积物的样品进行分析鉴别。这种直接钻探方式的缺陷是众所周知的。随着现代科学技术的发展,直接取样已逐渐被非接触性探测方法所取代。常见的间接探测手段有光学、声学、数字地震、生物化学等等。激光是一种单色性很好的光源,在海水比较清澈的海域用激光探测海底是一种很好的方法。地波雷达是近年来发展起来的一种地质勘探的新手段,它的电磁波的频带很宽,也可以穿透很深的底层,在淡水域(比如:内陆湖泊及江河入海口处)中用其探测水下沉积结构也是一种有效的手段。但是,由于电磁波在海水中的吸收等原因,很难用于探测海底底质。数字地震仪可以说是宏观探测浅海沉积结构的最佳手段,由于地震波的能量大频率低,可以做到大深度、大范围的探测沉积结构。而海底声成像和海底摄影技术则可以对海底沉积层的表面结构,尤其是粗糙度等特性进行精确的观测和识别。对于浅海海底沉积物的结构探测和属性识别最为常用的方法是声学探测与识别。

声学探测的原理是利用声学换能器产生并向海底发射声波,通过观测记录并分析海底沉积物对于声波的不同反映来了解沉积物的地质属性。由于声波比较容易产生,因此可以连续、高效的进行海底探测。又由于其功率、频率和波束角等特性比较容易控制,其传播行为可以理论计算,因此可以满足不同的探测要求,也可以由回波特征来识别沉积物的地质属性。声学方法在海底探测方面有着诸多的优点,从而得以快速发展。从早期的以探测沉积结构为主的浅地层剖面仪到最新发展起来的兼有高分辨率的结构探测和准确度较高的底质识别能力的多波束参量阵地质声纳,形成了一个功能提全的声学地质探测设备族。

人们对浅海海底沉积物的探测更感兴趣的是地质属性的探测,结构探测的目的也是要通过钻孔取样等方法来确定层间属性,最后完成沉积属性的探测。这也是海洋工程地质的实际需求。在沉积结构探测中一般只利用声波的时间特征,声波的幅度、频率等其它特征不大被考虑。而这些特征也和沉积物之间存在着相互作用,而这些相互作用的存在使得我们对沉积物属性的多参数识别成为可能。经过多年的研究及实践,人们提出了多种海底沉积物声学识别和分类方法^{[1][2][3][4][5][6][7][8]}。归纳起来有二种:一种是直接提取沉积物的声学特性,依据沉积物的物理特征或者地质属性与诸多声学特征之间的相互关系进行分类或识别。另一种是

批注:

利用声波的基本理论建立波动方程,在解波动方程时限定必要的边界条件,调整波动方程中的各种参数,尤其是作为海底边界的边界参数,使其理论值与实测值相匹配,从而确定海底的有关声学参数,依据这些参数再对海底的地质属性进行分类。

上述的识别方法大多是在实验室进行后处理,其实用价值受到限制。基于水下工程地质的需要,海底声学的结构探测和属性分类识别逐渐趋于融合。因此,在海底沉积探测设备的开发设计时,就必须同时考虑对底质属性的实时识别技术的兼容性。下面将介绍线性调频声纳(CHIRP)技术和非线性调频声纳(参量阵声纳)技术及其识别技术。

2. 线性调频声纳在海底探测及识别中的应用

传统的海底声学探测主要是从单一参数或者从回波强度来判断海底的软硬度、粗糙度等。但由于受声波承载的信息有限,进行多参数识别的可能性难度很大,即使用于识别,准确度难以保证。到了80年代后期,A.de Roos^[9]等提出了利用线性调频声纳进行海底沉积物探测与识别的设想。线性调频声纳(CHIRP)由此诞生。它是一种宽频带主动声纳,发射的声脉冲是一线性调频信号,其频率通常在几十KHz到200KHz,而载频为250KHz。将接收到的回波进行滤波、放大并转换成数字量存入计算机,结合适当的数据处理或识别算法,在产生沉积结构的同时可以提取能够反映底质特征的声学参数,甚至可以直接将底质属性在计算机屏幕上显示出来。由于CHIRP声纳频带很宽,所以可以承载更多的信息。可以用它来进行海底探测与多参数底质分类识别。Pace和Gao^[10]利用CHIRP声纳从海底回波信号中提取谱特征及倒谱特征用于海底介质的分类识别。参考文献[11]中利用CHIRP声纳从海底回波信号中提取子带能量特征进行湖底沉积物的分类,对五类湖底沉积物的平均正确识别率达到了82.1%。

为了提高CHIRP声纳的水平分辨率,Guigne[6]发明了一种专利,将单个线性调频声纳换能器密排在一起,组成至少有两个水平方向上正交的二维换能器阵,每个在距离海底一定高度处

-
- [1] Breslau, L.R., Classification of seafloor sediments with a shipborne acoustical system, *Le Petrole et La Mer*, 132; 1965; 1~9
 - [2] Jackson D R., Baird A M., Crisp J J and Thomson P A G, High frequency bottom backscatter measurements in shallow water. *J. Acoust. Soc. Am.* 80. 1188-1199
 - [3] 孟金剩、关定华 “海底沉积物的声学方法分类”, *声学学报*, 7 (6), 227-343
 - [4] Turgut, Method and apparatus of classifying marine sediment, United States Patent, 5815465, Sept.29 1998
 - [5] Yamamoto, Method of measuing buried objects, geological formations and sediment properties, United States Patent, 5991236, Nov. 1999
 - [6] Guigne, Seabed sonar matrix system, United States Patent, 6160756, Dec.12, 2000
 - [7] Ji Wenyun, et., Research on pattern recognition of the acoustic Sea-bed Profiling Records and sea-bed geological classification, *ACTA Acoustica*, 2001.(3), P.213
 - [8] 杨挺等, 应用匹配滤波器法估测水下介质声阻抗的初步研究, *声学学报*, 2001. 5, Vol. 26 (3)
 - [9] Roos A D. Sinton J J. Gough P T. Kennedy W K and Cusdin M J., The detecting and classification of objects lying on the seafloor. *J Acoust. Soc. Am.* 84; 1456-1477
 - [10] Pace N G. And Gao H. Swathe, seabed classification. *IEEE J. Ocean. Eng.*, 13; 83-90
 - [11] 王正根等, 宽带声纳湖底沉积物分类研究, *声学学报*, Vol.21, No.4 Suppl., 517-524, August, 1996

[10]