

# 用声学三参数判别海底沉积物性质

卢 博<sup>1,2</sup>, 李赶先<sup>1,2</sup>, 黄韶健<sup>1</sup>

( 1. 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301; 2. 中国科学院边缘海地质重点实验室, 广州 510301)

摘要: 通过用声速-波形-振幅三参数识别技术获得海底沉积物的声速和频谱分析结果, 根据声速、波形、振幅认识海底沉积物物理状态和结构特征, 结合沉积层的其他地质信息, 综合来判别海底沉积物性质。实验结果表明, 利用声速高低、波形包络、振幅形状大小与沉积物结构、微结构、层理、颗粒成分、矿物组成、物理力学参数之间的关系, 可以判别实验海区浅表层海底沉积物基本性质和划分海底沉积物钻孔岩心中古海水进退事件痕迹的埋藏深度。为声遥感遥测海底沉积物的实践作出尝试和贡献。

关键词: 海底沉积物; 声速-波形-振幅; 判别; 古海洋学

中图分类号: P733.23

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2007)-01-0006-09

## Discrimination of seafloor sediment properties from sound velocity waveform and amplitude

LU Bo<sup>1,2</sup>, LI Gan-xian<sup>1,2</sup>, HUANG Shao-jian<sup>1</sup>

( 1. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences; 2. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

Abstract: Analytical results of sound velocity and spectrum for seafloor sediment are obtained by the three parameters (velocity-wave-amplitude) discrimination technique. Based on the three-parameter method, an understanding is gained of the physical condition and structural characteristics of seafloor sediment, which is combined with other geological information of the sedimentary layer to synthetically discriminate the properties of seafloor sediment. Experimental results show that, by using the relationship between sound velocity, wave form envelope, amplitude shape and size, and such parameters as sedimentary structure, microstructure, bedding, grain composition, mineral composition, and physical-mechanics, etc., the basic properties of the shallow surface seafloor sediment in the experimental sea area can be discriminated and the burial depth of traces of ancient marine transgression and regression events in the borehole cores of seafloor sediment can be divided, thus contributing to the practice of acoustic remote-sensing and telemetering seafloor sediment.

Key words: seafloor sediment; velocity-waveform-amplitude; discrimination; paleoceanography

## 1 引 言

海底沉积物是一种固体颗粒与粒间流体互相混合的水饱和多孔介质, 且非完全弹性体。用声学方法遥感遥测海底沉积物性质时, 往往由于沉积物颗粒成分、矿物组成、物理力学性质以及结构、微结构、层

收稿日期 2005-08-11; 修回日期 2005-12-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(批准号: 40476020, A0176012)

作者简介: 卢博(1952-), 男, 广东江门人, 研究员, 研究方向: 海洋物理和海底沉积声学。

通信作者: 卢博, E-mail: slub@sos.ac.cn

理等因素都可能影响到入射声波的传播速度和衰减。随着电子计算机技术的迅速发展,除了从声波的走时(计算成声速)可以获得海底沉积物有关的信息以外<sup>[1-2]</sup>,还可以从 FFT(快速富里叶变换)得到的波形、振幅谱、相位谱和角度谱等频谱分析结果,综合了解海底沉积物物理状态和结构特征等性质。本文介绍的是尝试用声速-波形-振幅三参数识别技术来判别海底沉积物性质的结果。

## 2 声速-波形-振幅三参数识别技术

一般地说,若海底沉积物低含水量、低孔隙度、有固结或胶结现象,并存在压密压实效果、沉积物颗粒单一均匀,这样可使得声波传播的速度加快,波形陡峭、呈圆形或椭圆形包络,振幅只有一个主频。若海底沉积物高含水量、高孔隙度、松散或松软、饱和海水、或出现裂缝及纹理等结构性问题,相应它们应力会降低,声波通过这样的样品时,速度相应降低,波形包络呈喇叭状,振幅成双峰或多峰形,主频向低端处出现两个或以上的主频现象。

### 2.1 声速

用弹性体波动方程描述声波在海底沉积物中的传播,往往由于沉积物物理性质和结构状态的不确定性而受到困扰。当海底沉积物含水量大于一定临界时,可以看成是沉积物颗粒(固体)“悬浮”在海水中(图 1(a)),而当海底沉积物含水量小于一定临界时,可以看成是沉积物颗粒之间“充填”了海水(图 1(b))。因此,声波在海底沉积物中的传播规律显然要受到固体和液体两相介质的影响,所以,沉积物声速  $C_p$  应该是固体颗粒声速  $C_g$  与液体海水声速  $C_s$  的和  $C_p=C_g+C_s$ 。

这就基本上解释了含水量丰富时(图 1(a)),海底沉积物声速  $C_p$  低于海水声速  $C_s$  原因,当声波入射透过样品时,含水量高的海底沉积物,它的颗粒悬浮在流体的海水中,声能的传递要受到流体的很大的影响,声线的运行要受到多次折射才可以到达接收换能器一端,这是一种弛豫作用影响声波入射传播所致的,因此,声时拖长,声速会降低,甚至会低于单一介质海水的速度,即  $C_p < C_s$ 。而含水量较低时(图 1(b)),海底沉积物声速  $C_p$  高于海水声速  $C_s$ ,含水量低的海底沉积物,它的颗粒堆垒相当密集,甚至有固结或胶结,当声波入射透过样品时,声能很快地

从每一颗粒传递到最近距离的另一个颗粒,不断循环下去,声线的运行很快能传递到接收换能器一端,速度显然比图 1(a)模型要快。这里有一个前提,就是沉积物颗粒的粒径不能小于波长。假如沉积物颗粒粒径小于波长的话,速度仍然会很慢。

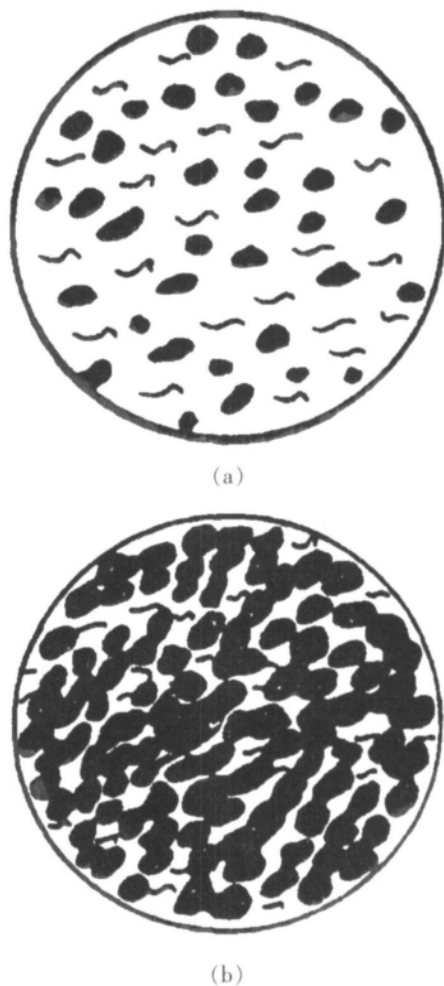


图 1 两种海底沉积物颗粒状态模型

Fig.1 Model on the Two Seafloor Sediment Granular Status

在利用声速  $C_p$  和  $C_s$  来定性判别海底沉积物时,应充分考虑到与介质弹性性质的关系。所以,对于同一介质内压缩波速  $C_p$  和切变波速  $C_s$  之比与介质密度无关,这意味着引入切变波后,可以对海底沉积物的声学判别和分类简化。压缩波速  $C_p$  和切变波速  $C_s$  是通过弹性模量而互相关联,又各自独立,须分别加以测量出来的两个值。在过去,研究者利用声速与孔隙度、颗粒度、密度、含水量等的密切关系,用经验公式来预报海底沉积物声速做了不少的工作<sup>[3-6]</sup>。压缩波速  $C_p$  的高低主要受海底沉积物弹性性质和物理参数的影响,而切变波速  $C_s$  的高低主要看它的切变模量  $\mu$ ,若  $\mu$  为 0 时,海底沉积物中的切

变波不存在,切变波速  $C_s=0$ ,若切变模量  $\mu$ 增大,即它的刚度增大,切变波速  $C_s$ 有增大的可能性,但不论怎样,同一介质中,压缩波速  $C_p$ 总是比切变波速  $C_s$ 要快。在过去我们对黄海、东海大陆架和南海海底沉积物样品的测量中,压缩波速  $C_p$ 为 1414m/s~1775m/s之间,而切变波速  $C_s$ 为 115m/s~611m/s之间<sup>[7]</sup>。Chen 等人报道台湾海峡西北部海底沉积物压缩波速  $C_p$ 为 1489m/s~1885m/s之间,切变波速  $C_s$ 为 27m/s~520m/s<sup>[5]</sup>。尤立克认为海底沉积物压缩波速  $C_p$ 一般是切变波速  $C_s$ 的 1~10倍<sup>[8]</sup>。Hamilton 等人给出海底沉积物和岩心压缩波速  $C_p$ 与切变波速  $C_s$ 的关系<sup>[9]</sup>,图 2 是 Hamilton 的统计结果和本文测量的一些结果。图中实线是 Hamilton 的统计结果,虚线表示数据很少,虚线上的 V, P 和 S 点是日本岩心的结果<sup>[8]</sup>。其他数据点是我们的结果:南海北部,东海,珠江口盆地钻井岩心 1), 南海珊瑚礁岩心。是 Chen 等人报道的台湾海峡北部的数据<sup>[5]</sup>。很明显,压缩波速  $C_p$ 愈高的介质,切变波速  $C_s$ 同时也相对较高。

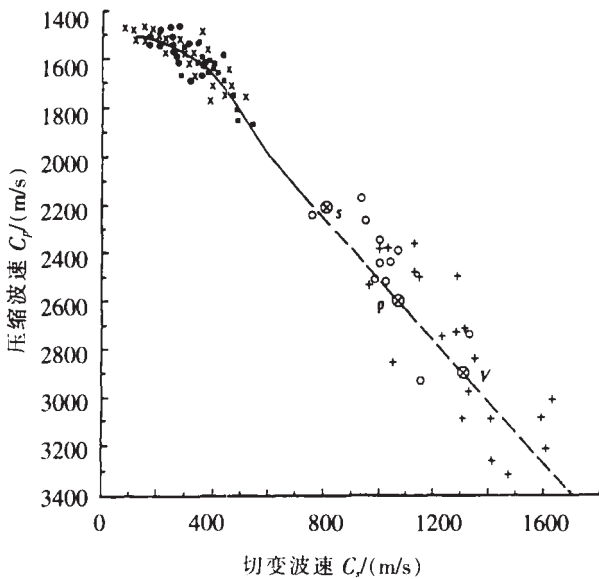


图 2 海底沉积物和岩心压缩波速  $C_p$ 与切变波速  $C_s$ 的关系  
Fig.2 Relationship between the compressional wave velocity ( $C_p$ ) and the shear wave velocity ( $C_s$ ) in the seafloor sediment and the rock core.

## 2.2 波形

由 SYC-2B 型声波仪所测得的沉积物声波信息,经过快速富里叶变换(FFT),成为频率域内表示的信息,即把它变成随频率而变化的函数,这个函数就是声波记录的频谱。声波仪由 A/D 接口,连接电

子计算机,通过软件可以具有对记录波形进行离散采样的功能,按着时序将波形离散成无数个单值,这些单值按时间排列起来,其终端的包络就是沉积物声波波形剖面图。每个单值的数量用二进制数字表示它的大小。由此可以看到:一个声波记录是一条有限的连续二维曲线,一维是记录时间,另一维是声波的振幅值。我们可以把它看成是一个一元单值函数,其变量是时间( $t$ ),应变变量是振幅( $A$ ),则函数  $A(t)$ 就表示了声波记录。即有一个( $t$ ),便有一个相应的( $A$ )  $A(t)$ 是一个连续函数。一个声波记录下来的波形,是由一些简单的具有不同振幅、频率、初始相位的谐波叠加起来的合成讯号,如对于下面这样简单正弦波:

$$\xi(t) = A_n \sin(W_n t + \phi_n) \quad (n=0, 1, \dots, N)$$

可以合成一个新的波:

$$\xi(t) = \sum_{n=0}^N A_n \sin(W_n t + \phi_n) \quad n=0$$

这时合成波  $\xi(t)$ 与简单的正弦波就完全不同。由于各种类型的海底沉积物物理学、颗粒组成、结构和微结构特征、样品内的分层和层理不尽相同,声波仪换能器发射的声脉冲通过沉积物样品时,有不同的声波响应,有不同的反射,有不同的波形。对于任何一种波形都可以按着谐波分析的方法,将这个波分解成一系列简单的谐波,这些波的振幅、频率、初始相位都是不同的,这些谐波的叠加就是这个振动波的波形。

被测的海底沉积物样品内颗粒组成单一、均匀,没有明显的分层和微层理,结构致密,含水量和孔隙度很低,则它可能是密度和抗压强度也较高,那么,这个样品的波形正如图 3(a)所示的那样:波峰陡峭,初至波清晰,呈圆形或椭圆形包络,波形逐步收敛。假若,被测的海底沉积物样品内颗粒组成多样化,不均匀,有明显的分层和微层理,结构松散,含水量和孔隙度很高,密度和抗压强度较低,那么,这个样品的波形正如图 3(b)所示的那样:波形包络呈喇叭状,初至波形由小逐步扩大。

## 2.3 振幅

在声波仪测量海底沉积物样品时,输出的结果有两个显示方法,一是以一条随时间变化的连续曲线,将讯息的振幅表示为时间的函数。另外是用一系列数字表示某一时刻的信号振幅,这些值是以一定时间间隔抽取的,如 0.1  $\mu$ s 或 0.5  $\mu$ s,这是一系列













