

海底沉积物样品声衰减与温度关系的实验研究

吴锦虹¹, 邹大鹏¹, 吴百海¹, 卢 博², 曾洁莹¹

(1. 广东工业大学机电学院, 广州 510090; 2. 中国科学院南海海洋研究所边缘海地质重点实验室, 广州 510301)

摘要: 不同海区海水温度不同, 导致不同海区沉积物温度不同; 实验室环境温度变化造成沉积物温度的变化。模拟沉积物的温度变化来研究沉积物声衰减的变化, 分别从声衰减系数和本文提出的温变衰减系数描述声衰减。以原状样品和人工样品为例说明了在一定厚度的海底沉积物中, 声波的传播能力受到沉积物本身分布的均匀度的影响, 会出现不同的衰减趋势; 通过定义温变衰减系数得到了海底沉积物对能量的传播能力随温度的升高而降低。

关键词: 海底沉积物; 声衰减; 温度; 声学测量

中图分类号: P733.23

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2008)-05-0631-05

Experimental study of the relationship between temperature and acoustic attenuation of seafloor sediments

WU Jin-hong¹, ZOU Da-peng¹, WU Bai-hai¹, LU Bo², ZENG Jie-ying¹

(1. Faculty of Electromechanical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China.

2. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

Abstract: The temperature difference between sea areas cause seafloor sediments' temperature not identical. Similarly the environmental temperature change in laboratory causes the change of sediment sample's temperature. The variation of acoustic attenuation of sediments has been studied by simulating the temperature change of sediments. A temperature varying attenuation coefficient is put forward to show the variation of acoustic attenuation at a certain spot in sediments. And the acoustic attenuation is described by the acoustic attenuation coefficient and the temperature varying attenuation coefficient respectively. With the sediment sample in previous condition the effect of the temperature uniformity within sediments on the sound energy transmission is explained. Different attenuation tendencies can be seen, and the transmission ability of sound energy in sediments decreases with the increase of sediment temperature.

Key words: seafloor sediments; acoustic attenuation; temperature; acoustic measurement

1 引 言

海底温度因为海域的不同而不同, 从 -2°C ~ 30°C 不等, 受到海水温度的影响天然海底浅层沉积物的温度也不相同, 同时沉积物温度会随深度的增加而发生变化。一般在实验室中进行沉积物的实验, 沉积物也会因为实验室环境温度的不同而受到影响。这些温度的变化因素会使得同种类型的沉积物的特

性参数声衰减发生变化。为此在实验室中模拟温度的变化, 研究沉积物声衰减与温度之间的关系。

2 沉积物声衰减的测量与计算

声衰减是海底沉积物的重要参数之一, 是沉积物分子、聚集态与相间结构和组成的反映。声衰减考虑的是声波的传播过程中能量的减少情况, 声衰减随温度的变化情况可以用两个量来表示: 声衰减系数和衰减量。

按照《海洋调查规范海洋声、光要素调查》中给出的由仪器测得的不同固定距离上声信号振幅, 然后根据式(1)推算出沉积物声衰减系数:

收稿日期: 2007-08-01; 修回日期: 2008-10-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(40676040, 40476020)

作者简介: 吴锦虹(1978-), 女, 广东汕头人, 硕士研究生, 研究方向为海底沉积物声学物理特性。

通讯作者: 邹大鹏, E-mail: anthonyzou@126.com

$$\alpha = 20 \lg(A_2/A_1)/(L_2 - L_1) \quad (1)$$

式中: A_1 为在固定距离 L_1 (单位: m) 上测得的声压振幅, μPa ; A_2 为在固定距离 L_2 (单位: m) 上测得的声压振幅, μPa 。

衰减量的变化可以幅值来表现, 按照声衰减系数的定义方法, 在温度实验中定义一个温变衰减系数 γ 来说明衰减量的变化:

$$\gamma = 20 \lg(M_1/M_0)/(t_1 - t_0) \quad (2)$$

式中: M_0, t_0 表示温度实验测试参考点的幅值和温度, M_1, t_1 其他温度测试点的幅值和温度。 γ 单位为 $\text{dB}/^\circ\text{C}$ 。

声衰减系数表示的是声波在传播距离上的衰减情况, 温变衰减系数表示的是声波传播过程中在介质中某一点的能量变化情况。

3 实验测量设计

3.1 测量装置

实验测量借鉴中国科学院南海海洋研究所测试沉积物声衰减系数的方法, 图 1 是声衰减的测试原理图, 整个测试系统由 DB4 型多功能声波仪、计算机、发射换能器 (100kHz)、接收换能器 (100kHz)、温度计、冰箱和沉积物样品组成。

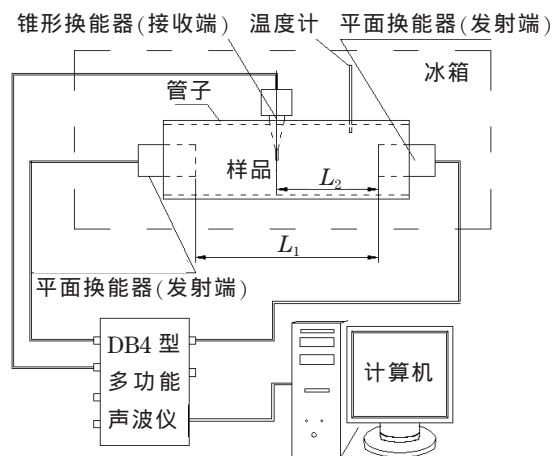


图1 声衰减测试原理

Fig.1 The schematic diagram of attenuation testing

3.2 样品

样品使用人工样品和原状样品进行实验。原状样品来自 2006 年夏季中国科学院南海海洋研究所科学考察获得的少量多管采样的样品; 人工样品是采用多管采样剩余的原样沉积物来制作的。

人工样品的制作方法如下: 将取回的海底沉积物放置在大容器中, 最少静置 15 天以上, 使样品中的气泡释出, 保证样品尽量达到均匀的状态, 然后

用塑料管套取样品; 竖直放置 15 天以上, 每天挪动样品, 使样品气泡尽量释出, 达到均匀状态。

3.3 换能器能量转换倍数计算

在实验测量中使用两个不同的接收换能器-平面换能器和锥形换能器。图 1 所示两个换能器的声轴互相垂直, 声波接收方法不同, 接收面积不同, 必然造成在两个换能器对能量的接收有差异, 因此必须对两个换能器的能量转换倍数进行计算。

使用特殊样品容器 (如图 2 所示) 制作样品进行实验。此样品容器直径为 75mm, 分为五段, 四个 20mm 左右的小段和一个 100mm 左右的长段, 每一段上面都钻有 15mm 左右长的正方形小孔。

按图 3 所示的换能器安装位置, 对样品进行测量:

(1) 将一个平面换能器作为发射端固定安装在样品的右端 (如图 2), 先将锥形换能器插入左端的第一个方形孔中, 对样品进行测量, 记录锥形换能器接收到的波形, 记下锥形换能器轴线所在位置; 取出锥形换能器, 将平面换能器插入样品左端, 使换能器平面刚好处于之前锥形换能器轴线所在位置, 对样品进行测量, 记录平面换能器接收到的波形。



图2 能量换算样品容器图

Fig.2 Container of energy conversion

(2) 用小刀去掉样品左端第一端, 重复 (1) 的工作, 进行第二次测量。依此方法, 进行剩下三次测量。

(3) 提取每次测量所记录锥形换能器和平面换能的声信号波形幅值, 将两者相除, 即可得到平面换能器和锥形换能器之间能量的换算系数, 用 β 来表示:

$$\beta = 0.00085924L^2 - 0.13052L + 6.9192 \quad (3)$$

将 β 代入式 (1), 得到修正后的声衰减系数计算公式:

$$\alpha = 20 \lg(\beta A_2/A_1)/(L_2 - L_1) \quad (4)$$

3.4 实验测量方法

进行沉积物声衰减系数测试时, 先将样品放入冰箱中降温到 0°C 左右, 取出放在空气中升温; 当温度每升高 1°C (或 0.5°C) 采集两个接收换能器 (一个平面换能器, 一个锥形换能器) 的接收波形; 测量两个接收换

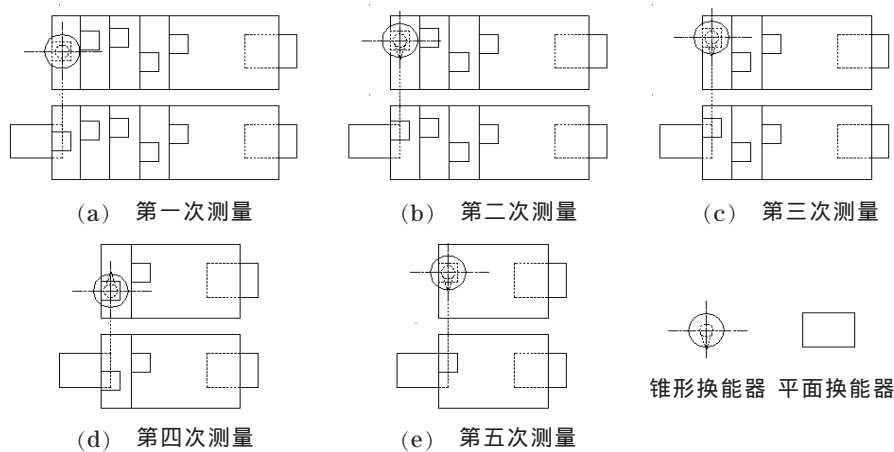


图 3 换能器安装位置示意图
Fig.3 Transducer assemble location

表 1 样品参数
Table 1 Parameters of samples

	原状样品 1-5	人工样品 1-6	原状样品 12-18	原状样品 12-24
平均粒径 $Mz(\Phi)$	7.727	7.714	7.594	7.257
样品分类	黏土质粉砂	黏土质粉砂	黏土质粉砂	黏土质粉砂

能器与发射换能器之间距离,提取波形幅值,代入公式(1),即可得到在不同温度下的声衰减系数。

温变衰减系数测试:将样品放入冰箱中降温到 0℃左右,取出放在空气中升温;当温度每升高 1℃ (或 0.5℃)采集平面接收换能器(不需使用锥形换能器)的接收波形;测量接收换能器与发射换能器之间距离,提取波形幅值,选取测量的参考点(本实验以 1℃为参考点)的幅值与温度,以及不同的温度点的幅值与温度,代入公式(2),即可得到在不同温度下的温变衰减系数。

4 实验测量结果

4.1 温变衰减系数实验

温变衰减系数实验以 1℃为温度参考点。样品参数如表 1 所示。

绘制的样品声速曲线如图 4 所示,从声速曲线中可以看到样品的声速范围在 1307m/s~1620m/s 之间,南海海区沉积物的声速范围为 1336m/s~1885m/s^[1],样品声速基本符合这个范围。从曲线上看样品分为两类,一类声速随温度上升,如样品 1-6、12-24、12-18,声速变化比较缓慢。一类声速随温度下降,如样品 1-5。

样品 1-5 在 1℃以下声速变化比较剧烈,观察样品的频谱分析图(图 4),在 1℃以下,样品 1-5 状态不稳定,在 1℃慢慢趋于稳定。判断样品 1-5 本身不均匀,当温度降得过低,会使其中的水分结冰致使

样品变脆,在温度升高过程中水分流动,造成内部结构的急剧变化,样品的不均匀性加大,从而出现频率不稳定变化和声速的急剧变化。而 1℃以上,水的流动基本趋于稳定,样品的结构剧烈变化转为缓慢的变化,从而样品的频段开始稳定,声速变化缓慢。

因此,当样品本身不发生结构的重大变化时,样品声速变化都比较缓慢,样品之间的成分的轻微差异会导致声速的轻微不同。

图 5 是样品的温变衰减系数曲线,从中可以看出,所有样品的曲线都是下降的,原状样品下降趋势比较剧烈,人工样品比较平缓。

原状样 12-24、12-18 变化相对于 1-5 比较平缓。比较原状样的声速,样品 1-5 声速是下降的,变化也比较剧烈,所以认为样品表现出来的温变衰减系数

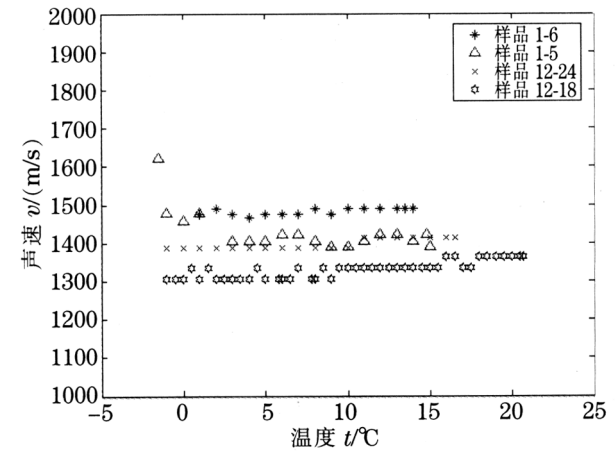


图 4 样品声速-温度图
Fig.4 Velocity-temperature drawing

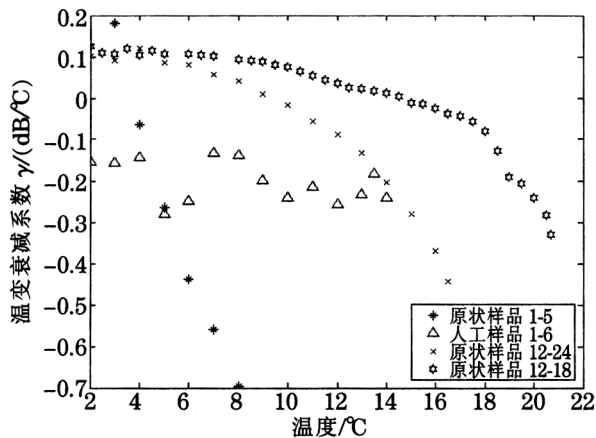


图5 样品温变衰减系数-温度图

Fig.5 Sample's drawing of attenuation coefficient with temperature changing-temperature

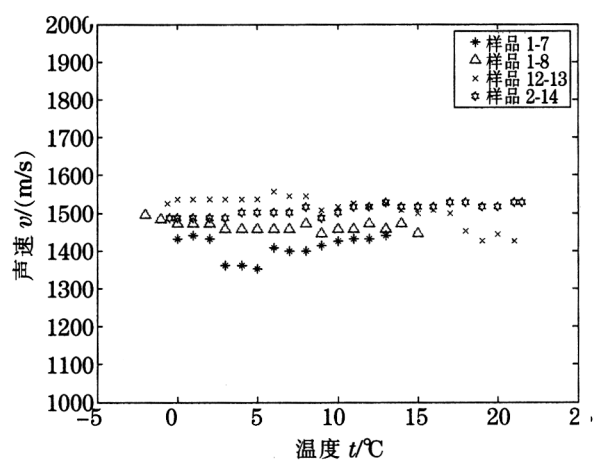


图6 样品声速-温度图

Fig.6 Velocity-temperature drawing

表 2 样品参数

Table 2 Parameters of samples

	人工样品 1-7	原状样品 1-8	原状样品 2-13	原状样品 2-14
β	3.1	3.5	2	3.5
平均粒径 $Mz(\Phi)$	7.714	7.618	7.272	6.225
样品分类	黏土质粉砂	黏土质粉砂	黏土质粉砂	砂-黏土-粉砂

是和声速变化相联系的,也就是说导致声速变化的原因与温变衰减系数变化的原因相同,就是样品本身微观结构,即样品的成分与均匀度影响了温变衰减系数。所以可以断定样品 1-5 不均匀,3 个原状样品成分不同导致了温变衰减系数的变化。

人工样品 1-6 的温变衰减系数曲线基本上呈下降趋势,但曲线出现波动。人工样品制作的时间相对于天然沉积物的沉积时间短了很多,从而样品比较松散,易受到外界因素的影响而发生波动。

对比每个样品,在相同的温度参考点下,发现声能量增加为负值的点并不相同,能量本身是与物质结构相关联的,因此也将之归结为样品的微观结构的差异。

虽然用于实验的样品的微观结构的差异导致了温变衰减系数曲线的趋势变化快慢不同,但是无论是原状样品还是人工样品,所反映的趋势都是一样的,整体在下降,也就是说对于南海海区的黏土质粉砂沉积物声传播能力是在减弱的,衰减是在增大的。

4.2 声衰减系数的获取

声衰减实验的样品参数如表 2 所示。

绘制样品的声速曲线如图 6 所示,从图 6 观察,发现所有的样品声速的变化在 9℃之前都比较复杂,根据前面的分析知道,在 9℃之前,基本上所有样品都会有一个冰的融解过程,在这个过程中水分的流动会造成换能器位置的轻微变化,从而造成声速的变化并且跳动比较大。在 9℃之后,样品的内部

结构的变动达到平衡,样品声速基本是连续的变化,变化的声速范围为 1415m/s~1529m/s。声速的趋势有两种:一种是上升趋势,包括样品 1-7,样品 1-8,样品 2-14;一种是先上升后下降的趋势,如样品2-13。对比样品成分,样品 1-7,1-8,2-13 是同一类样品,样品 2-13 测量的温度范围较宽,对比三个样品在同一温度范围(9℃~13℃)的测试结果,三个样品的趋势都是一样的,都是上升的。因此在相同的温度范围内所有样品的声速趋势都是上升的。

经过实验,样品的声衰减系数的变化趋势分为两类(见图 7),第一类上升趋势,包括样品 2-13 和样品 2-14,声衰减系数范围分别为-24.3dB/m~-42dB/m和-189dB/m~-209.9dB/m;第二类下降趋势,包括样品 1-7 和样品 1-8,声衰减系数范围分别为-122.4dB/m~-164.2dB/m 和-95.5dB/m~-111.1dB/m。

两种不同趋势与沉积物的颗粒分布有关。四个样品的平均粒径是:样品 1-7>样品 1-8>样品 2-13>样品 2-14。人工样品 1-7 的制作过程采用样品垂直放置的方式,这样会导致样品在沉淀过程中大颗粒固体集中在样品底部,而小颗粒固体浮在样品的上部,从总的长度来看就会出现样品的不均匀状态。天然沉积物的沉积过程也是与人工样品的沉淀过程类似。推断用于实验的人工样品 1-7 和原状样品 1-8 粒径较大,这种不均匀性相对于平均粒径小的样品 2-13 和 2-14 要大得多,导致了温度变化下样品声衰

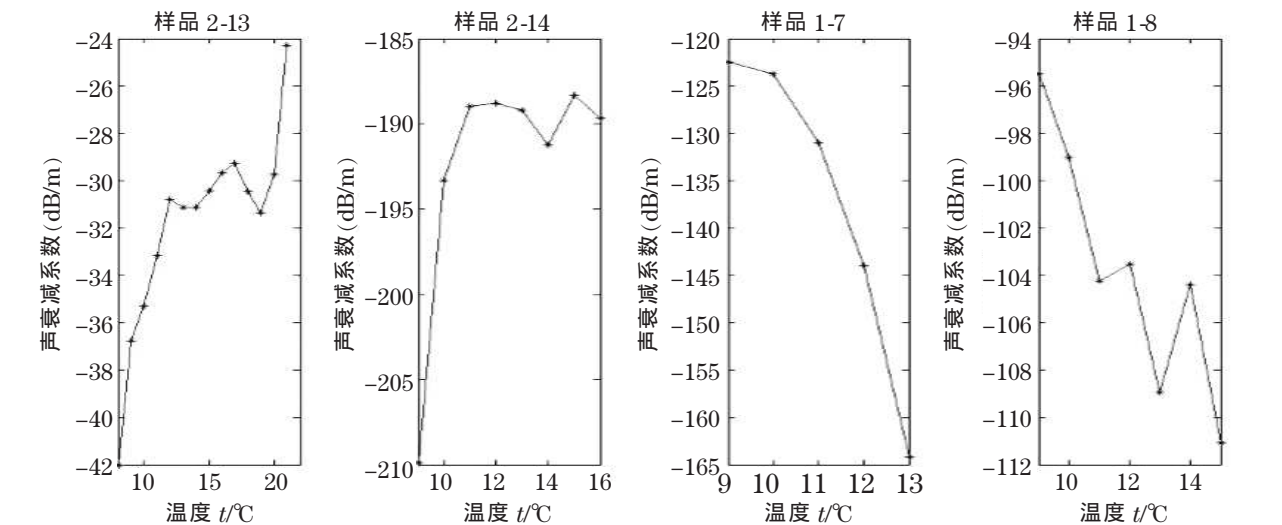


图 7 样品声衰减系数-温度图
Fig.7 Drawing of attenuation coefficient-temperature

减系数的变化趋势不同。

4.3 分析与结论

在海洋沉积物声衰减的温度实验中,对于不同的样品,温变衰减系数都是下降的趋势,但是声衰减系数却表现不同的趋势。从这两个参数的定义方式来说,温变衰减系数表示的是沉积物中某一点的能量衰减情况,声衰减系数表示的是能量在距离上的衰减情况。这也就说明:

- (1) 海底沉积物对能量的传播能力随温度的升高而降低;
- (2) 一定厚度的海底沉积物对声波的传播能力受到沉积物本身分布的均匀度的影响。由于沉积条件,沉积历史的不同,会出现不同的衰减趋势。

5 结 语

海底沉积物在采样、运输保存以及测试的过程

中都不可避免地受到温度的影响,因此本文通过实验来研究温度对海底沉积物的影响,研究温度对声衰减的不同表示参数--温变衰减系数、声衰减系数的影响,得到温变衰减系数以及声衰减系数的变化趋势。

对于海底沉积物的环境影响参数除了温度之外,还有扰动以及压力等,当沉积物从海底采样到陆上之后,基本上压力是不变的,因此对于压力的影响可以不加考虑。而扰动对于沉积物的影响是无时不在的,因此有必要研究扰动对声衰减的影响,我们在另外的文章中加以讨论。

参 考 文 献

[1] 卢博, 李赶先, 孙东怀, 等. 中国东南近海海底沉积物声学物理性质及其相关关系[J]. 热带海洋学报, 2006, 25(2): 12-17.
LU Bo, LI Ganxian, SUN Donghuai, et al. Acousticphysical properties of seafloor sediments from nearshore southeast China and their correlations[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2006, 25(2): 12-17.