

研究简报

浑水中兆赫频率的声衰减实验研究

凌嘉¹, Reza Javidan²

(1. 中国科学院东海研究站, 上海 200032; 2. 澳大利亚悉尼大学 NSW2006)

摘要: 文章报道了浑水中的声衰减的实验研究结果, 超声波的频率分别为 1、2、3、4、5 MHz。实验表明: 在同一个含沙量 M 的浑水中, 声衰减系数 β 大致随频率 f 的增加而线性增加; 对同一个频率 f , 声衰减系数 β 大致随含沙量 M 的增加而线性增加; 在同一个频率 f 和相同含沙量 M 的情况下, 声衰减系数 β 随泥沙粒径的增加而增加。

关键词: 声衰减; 兆赫频率; 浑水

中图分类号: TB559 文献标识码: A 文章编号: 1000-3630(2004)03-0193-03

Megahertz acoustic attenuation in fluidized mud

LING Jia-yun¹, Reza Javidan²

(1. Shanghai Acoustics Laboratory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200032, China;

2. University of Sydney, NSW2006, Australia)

Abstract: An experimental study of megahertz acoustic attenuation in fluidized mud has been made respectively in Shanghai Acoustics Laboratory, Chinese Academy of Sciences and in University of Sydney, Australia. The frequencies f of sound waves are 1, 2, 3, 4, 5 MHz. The experimental results show that as an approximation, (1) β increases linearly with f for a same M , (2) β increases proportionally with M for a same f , and (3) β increases with grain size of sediments for same f and M , where β the acoustic attenuation in dB/m, M the sediment concentration in kg/m^3 .

Key words: acoustic attenuation; megahertz frequency; fluidized mud

1 引 言

国际上正在发展高分辨率的三维声成像技术, 用于探测淹没在浑水和泥浆中的海底目标^[1,2]。这种探测设备是一个兆赫频率的主动声呐, 为了研制这种探测设备和估测它在实际应用情况下的探测性能, 一个重要的物理参数就是兆赫频率的声衰减。在浑水和泥浆中的声衰减机理十分复杂, 长期以来国内外很多学者进行过这方面的研究。一些著名的理论研究成果说明了声衰减与声波频率及众多的介质物理参数之间的变化关系^[3]。但是, 应用理论公式计算声衰减系数却十分困难, 主要原因是很多需要知道的介质物理参数难以确定, 以致理论计算结果的误差很大。因此, 为了具体的应用目的, 还必须

通过实验研究来确定实际条件下的声衰减系数。中国科学院东海研究站在实验上对超声波频率为 1kHz~ 1.5MHz 的浑水和泥浆的声衰减系数进行过专门的研究, 根据大量的实验数据得出了在这个频率范围内的声衰减系数的经验公式^[4,5]。

本文报道了超声波的频率为 1MHz~ 5MHz 时的声衰减系数的实验研究结果。这是中国科学院东海研究站张叔英教授和澳大利亚悉尼大学 Ian Jones 教授合作研究项目中的一项基础性工作。实验测量工作分别在中科院东海站和澳大利亚悉尼大学进行。这个国际合作研究项目得到了上海市科学技术委员会和中国科学院的支持。

2 实验装置和实验方法

图 1 是中国科学院东海研究站研制的“SAL-1 声衰减测量仪”。它由 5 对频率分别为 1、2、3、4、5 MHz 的超声波换能器(固定在一个测量架上)及相关的发射和接收电路组成。在浑水中进行声衰减测量

收稿日期: 2004-03-10; 修回日期: 2004-06-28

基金项目: 上海市科技发展基金项目(025907017)

作者简介: 凌嘉 (1980), 男, 上海人, 主要研究方向: 水声工程。

的实验布设如图 2 所示, 实验的过程如下:

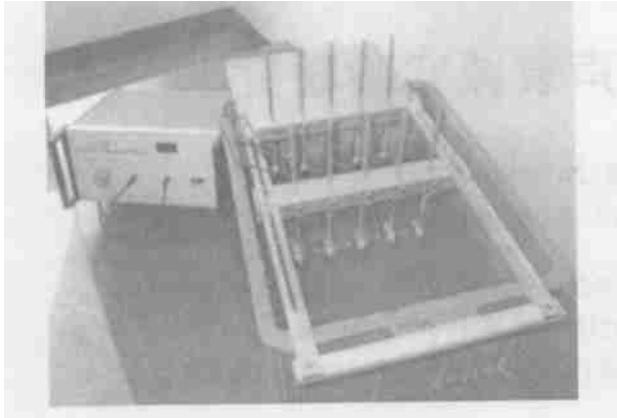
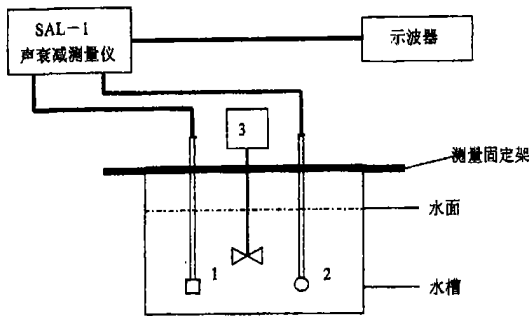


图 1 声衰减测量装置

1. 将 5 对(1、2、3、4、5 MHz) 发射换能器和接收换能器安装在一个特制的测量架上, 再一起放入清水槽内进行校准。各对发射换能器和接收换能器之间的距离调整到 5cm, 并通过仔细调节, 使得每对换能器的声轴各自对准后再把换能器的位置固定, 这时各个频率的接收换能器的输出电压达到最大值(设为 A_0)。

2. 在另一个水槽内先放入 20L 清水, 再按照给定的含沙量 M (以 kg/m^3 为单位) 的大小, 放入一定数量的泥沙样品。用电动搅拌器把泥沙和水搅拌均匀以后, 再用“ANB-1 泥浆比重计”对水槽内的浑水的浓度进行校验。在中国科学院东海研究站试验时泥沙样品直接取自长江口的河底, 平均粒径为 $16\mu\text{m}$; 在澳大利亚悉尼大学试验时, 泥沙由二氧化硅(SILICA) 粉末代替, 粉末的标号分别为 100G 和 400G(1G 相当于 $0.034\mu\text{m}$)。



1: 发射换能器(1~5MHz) 2: 接收换能器(1~5MHz) 3: 电动搅拌器
图 2 声衰减测量的实验布设图

3. 接着把安装了频率为 1MHz~5MHz 的 5 对换能器一起放入经搅拌均匀的浑水中, 分别记录 1MHz~5MHz 接收换能器输出的电压幅值。每个测

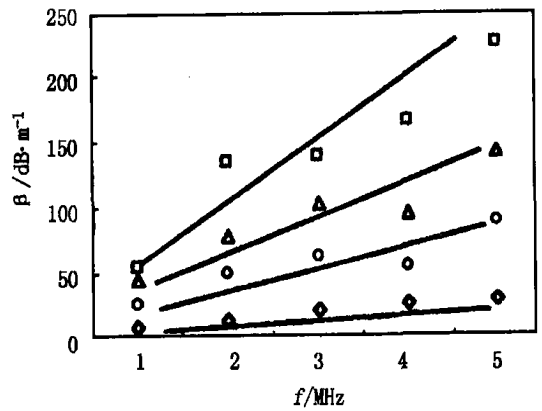
量数据是几次读数的平均值(设为 A)。

4. 按照下式计算浑水中相对于清水的声衰减系数 β (以 dB/m 为单位),

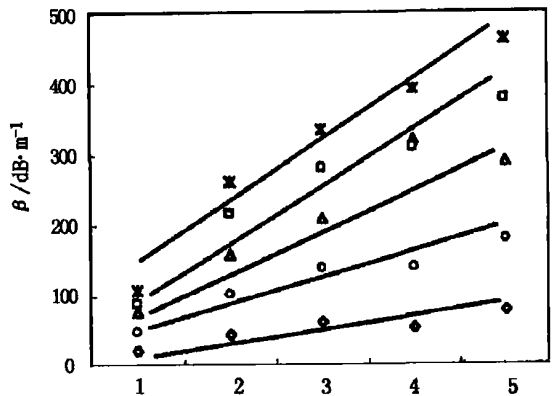
$$\beta = 20 \log_{10}(A_0/A) \times (100\text{cm}/5\text{cm}) = 400 \log_{10}(A_0/A) \quad (1)$$

3 实验结果和分析

不同情况下的声衰减系数 β 的实验结果如图 3~图 5 所示。由于浑水中泥沙的搅拌比较均匀, 并且较好地去除了气泡, 测量数据能够比较稳定, 离散性较小。



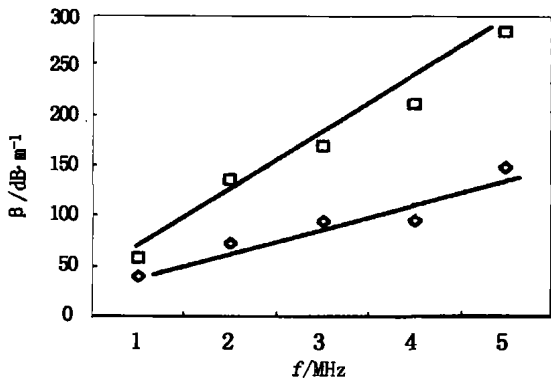
◇为 $80\text{kg}/\text{m}^3$; ○为 $160\text{kg}/\text{m}^3$; △为 $240\text{kg}/\text{m}^3$; □为 $320\text{kg}/\text{m}^3$;
图 3 浑水中含有 100G 二氧化硅的声衰减系数曲线



◇为 $80\text{kg}/\text{m}^3$; ○为 $160\text{kg}/\text{m}^3$; △为 $240\text{kg}/\text{m}^3$; □为 $320\text{kg}/\text{m}^3$;
*为 $400\text{kg}/\text{m}^3$;
图 4 浑水中含有 400G 二氧化硅的声衰减系数曲线

因此, 实验结果能够较好地反映声衰减系数 β 的变化规律, 并且实测的数据已经作为澳大利亚应用高分辨率的三维声成像设备的一个参考依据^[6]。

由图中可以看出, 声衰减系数 β 的变化规律可以表达为: 在同一个含沙量 M 的浑水中, 声衰减系数 β 随频率 f 的增加而线性增加; 对同一个频率 f ,



◇为 80 kg/m^3 ; □为 160 kg/m^3

图 5 浑水中含有长江口泥沙的声衰减系数(平均粒径 $16 \mu\text{m}$)

声衰减系数 β 随含沙量 M 的增加而线性增加; 在同一个频率 f 和相同含沙量 M 的情况下, 声衰减系数 β 随泥沙粒径的增加而增加。

4 结束语

本文给出了浑水中 $1 \text{ MHz} \sim 5 \text{ MHz}$ 频率的声衰减系数的实验研究结果。实验表明, 即使高达兆赫频率, 浑水中的声衰减系数 β 随频率 f 的变化规律也基本符合线性规律。这一点对于浑水中的声衰减研究有重要意义。

在测量过程中发射换能器和接收换能器之间的距离固定为 5 cm (一点法), 因此所测得的超声波在浑水中的声衰减系数 β 是相对于在清水中的声衰减而言的。如果把发射换能器和接收换能器分别设置在两个不同距离上进行测量(两点法), 则可以测

得绝对的超声波在浑水中的声衰减系数^[5]。考虑到 $1 \text{ MHz} \sim 5 \text{ MHz}$ 频率的超声波在清水中的声衰减系数小于 10 dB/m ^[7], 即比在浑水中的声衰减系数小得多。在浑水的含沙量小于 500 kg/m^3 的情况下, 发射换能器在浑水中和在清水中的辐射阻抗变化很小, 对声衰减系数测量的影响不大, 所以应用“一点法”和“两点法”测量声衰减系数的结果相差不大。但是, 应用“一点法”测量的调节过程要简单得多, 而且容易保证浑水中含沙量的均匀和一致。

本项实验研究工作是在张叔英教授指导下进行的, 作者表示深切的感谢。

参 考 文 献

- [1] Jones I S F. Underwater acoustic imaging innovation program [M]. DSTO Technical Note DSTO-TN-0065, 1996.
- [2] Blair D G, Anstee S D. Underwater acoustic imaging: a simulation program and related theory [M], DSTO Technical Note DSTO-TN-0274, 2000.
- [3] 钱祖文. 颗粒介质中声衰减的浓悬浮粒子理论及其应用[J]. 物理学报, 1988, 37: 64-70.
- [4] 张叔英, 扬挺, 马在田. 长江口与杭州湾海区水底浮泥地声模型及其反射特性研究[J]. 声学学报, 1998, 23(5), 385-393.
- [5] 凌鸿烈, 孙耀秋, 扬挺. 长江口和杭州湾浮泥的声参数测量[J]. 声学技术 1997, 16(4), 194-197.
- [6] Jones I S F. Megahertz acoustic attenuation in fluidized mud [R]. Ocean Technology Group, University of Sydney, Experimental Note, December 2003.
- [7] Urick R J. Principles of underwater sound [J]. New York: McGraw-Hill Book Co., 1983.

(上接第 188 页)

- [5] 林书玉, 张福成, 郭孝武. 超声频矩形六面体的三维耦合振动[J]. 声学学报, 1991, 16(2): 94-97.
- [6] 林仲茂, 陆建华. 超声塑焊变幅器的有限元分析[J]. 声学技术, 1996, 15(4): 153-156.
- [7] Antonio Iula, Fernando Vazquez, Massimo Pappalardo, Juan A. Gallego, Finite element three-dimensional analysis of the vibrational behaviour of the Langevin-type transducer [J]. Ultrasonics, 2002, 40: 513-517.
- [8] 林书玉, 张福成. 超声塑料焊接工具横向振动及开槽的

研究[J]. 声学技术, 1992, 11(4): 24-28.

- [9] Andrea Cardoni, Margaret Lucas. Enhanced vibration performance of ultrasonic block horns [J]. Ultrasonics, 2002, 40: 365-369.
- [10] Kazunari Adachi, Sadayuki Ueha. Modal vibration control of large ultrasonic tools with the use of wave-trapped horns [J]. 1990: 208-214.
- [11] Lucas M, Smith A C. Redesign of ultrasonic block horns for improved vibration performance [J]. 1997, 7: 410-414.