

有限液态介质样品声衰减的 实验室测试新方法*

王宝升 林俊轩 张咸仁

(青岛海洋大学物理系 青岛 266003)

1995 年 5 月 24 日收到

摘要 本文介绍了一种在实验室条件下利用声脉冲测定有限容量液态介质样品声衰减系数的测试方法. 该方法根据声纳方程原理导出了与测试系统参数和声场参数无关的计算式, 从而避开了对测试系统参数和声场参数的测量, 采用截取未被边界散射干扰的直达声脉冲的部分信号进行频谱分析, 消除了有限样品情况下必然存在的边界散射干扰. 同时采用多次统计平均的做法抑制了噪声干扰.

关键词 有限液体, 声衰减测量, 信号截取, 统计平均

A new method for measuring sound attenuation coefficient of liquid sample of limited volume

Wang Baosheng, Lin Junxuan, Zhang Xianren

(Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003)

Abstract A new method is given for measuring sound attenuation of liquid sample of limited volume by sound pulse. Based on the sonar equation, this paper gives a formula unconcerned with parameters of the sound field and the measuring system, and makes spectrum analysis of only a part of the received signal that is not interfered by signals scattered from the boundaries. The statistical average method to restrain the noise level is also adopted.

Key words Liquid of limited volume, Sound attenuation measurement, Signal truncating, Signal averaging

1 引言

海底沉积层声特性的研究是海洋声传播十分关心的课题, 但由于条件所限, 海上现场测量的精度很难得到保证, 在实验室中对海底介

质样品的声特性进行测试是一个重要手段. 由于在实验室条件下某些声场参数和实验测试系统参数难以准确测定, 以及海底介质样品数量

* 国家自然科学基金项目

有限使声场的边界条件自然受限等原因,给实际测量带来很大困难.据此作者利用声纳方程原理,导出了与测试系统参数和声场参数无关的测量计算式,避开对某些实验测试系统参数和声场参数的测量,又采用只截取直达声脉冲未被干扰的部分信号进行频谱分析,从而消除了因样品容量有限必然产生的边界散射干扰.另外又利用实验室中的方便条件,采取重复发射接收进行多次统计平均的方法抑制噪声干扰,进一步提高了信号处理质量.

2 测量原理

声波在液体介质中传播时,声强度衰减是由声能的几何扩散以及介质的散射和吸收引起的,据声纳方程原理

$$SL - TL = 20 \lg(e/e_r) - M \quad (1)$$

式中 SL 是声源级(dB); TL 是声传播损失(dB),它包括两部分:一部分是用 $g(r)$ 表示的几何扩散损失(dB),另一部分是用 βr 表示的由介质声散射和声吸收引起的声衰减损失(dB), β 是声衰减系数(dB/m), r 是声源至接收点的距离(m); e 是接收点接受到的电压信号(V), e_r 是参考电压信号(V); M 是接收系统总增益(dB)^[1].

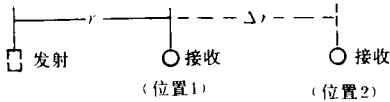


图1 换能器布置示意图

如图1所示,水听器位于活塞式发射换能器轴线上,据(1)式对水听器在接收位置1和位置2分别有

$$SL - g(r) - \beta r = 20 \lg(e_1/e_r) - M \quad (2)$$

$$SL - g(r + \Delta r) - \beta(r + \Delta r) = 20 \lg(e_2/e_r) - M \quad (3)$$

由(2),(3)式得

$$\beta \Delta r = 10 \lg A^2 + B \quad (4)$$

式中 $B = -[g(r + \Delta r) - g(r)]$, $A = e_1/e_2$

声波在所测介质中衰减较清水中快得多,可近似认为在清水中传播时其声衰减系数 $\beta = 0$ ^[2],由(4)式可得,在清水中

$$B = -10 \lg A_0^2 \quad (5)$$

式中 $A_0 = e_{10}/e_{20}$, e_{10} 和 e_{20} 分别在清水中水听器在接收位置1和2接收到的电压信号.于是,当声波在被测液体中传播时,由(4),(5)式可得

$$\beta = 10 \lg(A^2/A_0^2)/\Delta r \quad (6)$$

对声脉冲信号,其声衰减系数可按频段处理,声纳方程是能量关系式,对某一频段(6)式自然成立,但式中 A 和 A_0 此时应为

$$A^2 = \int_f^{f+\Delta f} e_1^2 df / \int_f^{f+\Delta f} e_2^2 df \quad (7)$$

$$A_0^2 = \int_f^{f+\Delta f} e_{10}^2 df / \int_f^{f+\Delta f} e_{20}^2 df \quad (8)$$

(6)式,(7)式和(8)式则为实验测量的依据式.

实验测量中为了消除边界散射的干扰,只截取直达声脉冲未被边界散射干扰的部分信号进行频谱分析.另外还采取了多次发射接收对信号进行统计平均的方法以抑制无规噪声的干扰.

3 测量方案

实验测量装置如图2所示,在长3 m,宽2 m,深2 m的消声水池中置一长2 m的实验框架,活塞式发射换能器和介质样品盒固定于实验框架上.样品盒为方形,侧壁、后壁和底附以吸声橡皮,上方开口,边长60 cm,用薄铁皮做成.水听器置于样品盒的上下方向的中间位置,且在发射换能器的发射轴线上,其水平方向的位置可通过调距装置调节,调节精度为

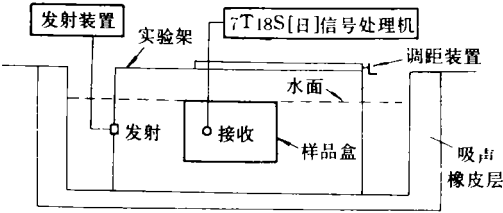


图2 实验装置示意图

0.002 cm.

发射换能器在发射装置控制下定时间间隔发射声脉冲, 由水听器接收后送[日]7 T18 S信号处理机. 分别记录在清水中和样品中水听器在两个位置时的接收信号, 并进行截取、谱分析和有关处理. 被测试样品为人造的含有细粉沙的乳状液态介质样品.

4 测量结果

实验测量中水听器移动距离(即图1中接收位置1和2之间的距离) Δr 为5.000 cm, 据式(6), (7)和(8)算得的样品衰减系数 β 与频率 f 的关系如表1和图3所示. 对直达信号的截取如图4所示.

表1 衰减系数 β 与频率 f 数据

$f(\text{kHz})$	4.88	9.77	14.56	19.53	24.42	29.30
$\beta(\text{dB/m})$	0.37	0.71	1.12	1.71	2.39	3.54

表中 f 为中心频率, 带宽为4.88 kHz.

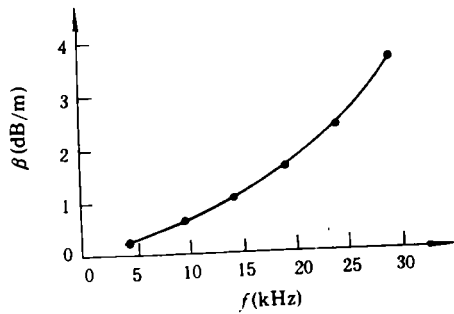


图3 衰减系数 β 与频率 f 关系

图中 a_{01} 和 a_{02} 为清水中水听器于位置1和位置2的接收信号, b_{01} 和 b_{02} 为其对应的截取信号. a_1 和 a_2 为样品中水听器于位置1和位置2的接收信号, b_1 和 b_2 为其对应的截取信号. a_0 为清水中水听器于位置1在水下80 cm 处无样品盒情况下接收到的直达信号. 纵坐标 e 为接收到的电压信号的相对值.

5 结论与分析

(1) 从表1和图3可见, 所测样品在频率从

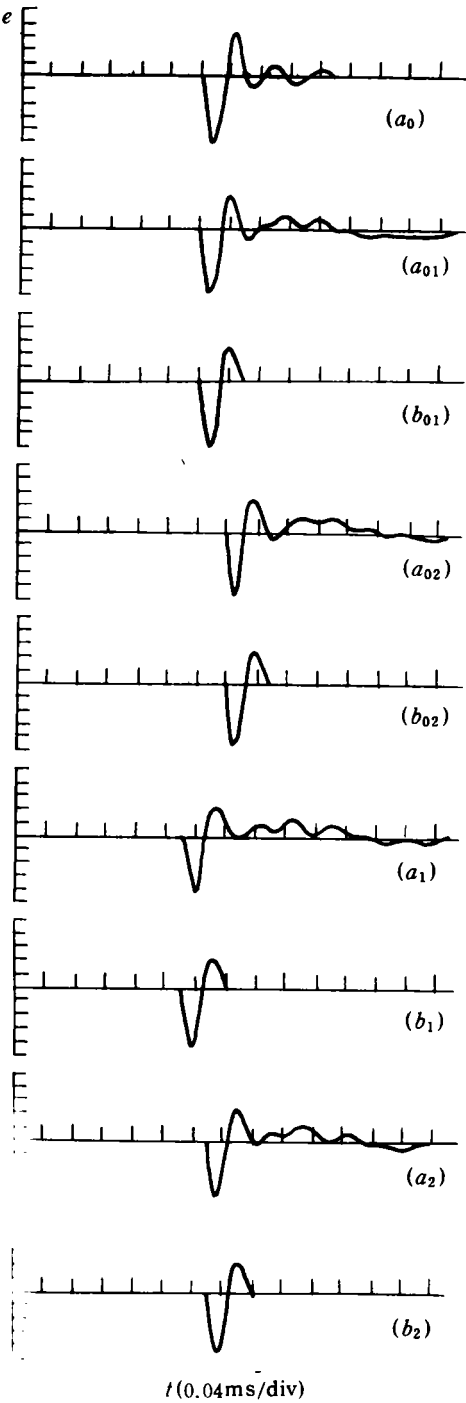


图4 信号截取

5 kHz—30 kHz 范围内其声衰减系数在0.37—3.54 dB/m 之间, 从所得数据还可算得, 在此频率范围内声衰减系数 $\beta=0.10+0.0271 f^{1.39}$ dB/m, 亦即声衰减系数与频率之间基本成

(下转第10页)

光沿 z 轴附近传播. 入射光使用沿 x 方向偏振的 e 光, 衍射光的偏振方向变成垂直于 XOZ 面, 成为 o 光. 由 LN 反常声光互作用动量匹配三角形的几何关系不难求出, 对于沿 X 传播、频率为 60 MHz 的超声波矢来说, 动量匹配条件要求入射光、衍射光波矢方向与 Z 轴的夹角分别为 $\theta_1 = 5.8^\circ$, $\theta_2 = 6.0^\circ$.

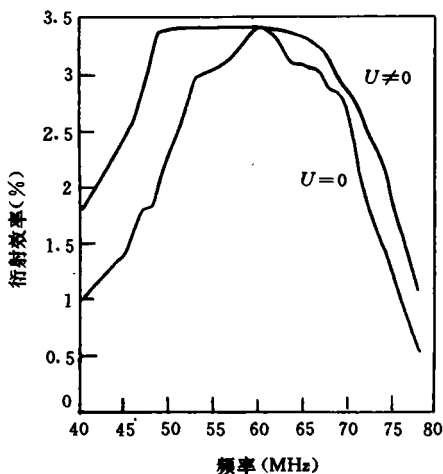


图 4 声电光偏转器衍射效率的频率响应实验曲线

我们对器件进行了测试, 调整器件的方位, 令 $f = 60$ MHz 时衍射光强最大, 此时不加补偿电压. 当驱动电信号频率 f 低于 60 MHz 时, 沿 y 方向加正向电压, 反之若 f 高于 60 MHz 时加反向电压. 电压的大小随频率偏差 Δf 成正比, Δf 每增加 1 MHz, 电压加大 80 v,

驱动电功率在测量过程中始终保持固定不变. 测量了衍射效率随频率变化的响应曲线, 如图 4 中标有 $U \neq 0$ 的曲线所示. 标有 $U = 0$ 的曲线为不加补偿电压时的响应曲线. 测量结果表明, 无补偿电压时的声光偏转器带宽 Δf 为 26 MHz, 加补偿电压的声电光偏转器带宽为 $\Delta f = 37$ MHz.

4 结论

我们的实验表明, 声电光偏转器比起单独的声光偏转器来, 带宽在换能器带宽的限制范围内提高了约 1.4 倍. 因此, 在其它条件相同的情况下, 可分辨点数也提高了 1.4 倍. 由于补偿电压的大小与频率偏差 Δf 的大小成简单的线性关系, 而方向取决于 Δf 的符号, 因此补偿电压的大小和方向很容易实现自动控制, 这使得声电光偏转器具有很好的实用性.

参 考 文 献

- [1] Psaltis D, Lee H, Sirat. *Appl. Phys. Lett.*, 1985, **46** (3): 215—217.
- [2] Lee H. *Appl. Phys. Lett.*, 1986, **49**(1): 24—25.
- [3] Lee H. *Appl. Optics*, **25**(23): 4452—4455.
- [4] 徐介平. 声光器件的原理、设计和应用, 科学出版社, 1982, 56.
- [5] 董孝义. 光波电子学, 南开大学出版社, 1987, 312—323.
- [6] Weis R S, Gaylord T K. *Appl. Phys. (A)*, 1985, **37**: 191—203.

(上接第 28 页)

1.39 次幂的关系. 以上结果(声衰减系数大小及其与频率的关系)与参考文献[3]中某些实验室样品测量结果相接近.

(2) 实验中发射和接收的最远距离约为 62 cm, 活塞式发射换能器的直径为 10 cm, 如此水听器所在位置对所测频率范围已是远场, 从而避开了在近场情况下声强随距离变化剧烈的影响^[4].

(3) 为了避开液体上界面反射对直达信号的干扰, 水听器移动距离仅为 5 cm, 但由于移位调节精度很高(0.002 cm), 这就保证了图 1

中接收位置 1 和 2 之间距离的精度.

(4) 测量中所用发射装置稳定性较好, 据此采用多次重复发射接收求统计平均的方法降低了无规噪声干扰.

参 考 文 献

- [1] 马恒仁, 王宝升, 林俊轩. 青岛海洋大学学报, 1988, **18**, 31—34
- [2] 玉荣津等. 水声材料手册, 科学出版社, 1983, 115.
- [3] (苏) Л. М. 布列霍夫斯基主编, 山东海洋学院物理系, 中国科学院声学研究所水声研究室译. 海洋声学, 科学出版社, 1983, 11—14.
- [4] 杜功焕, 声学基础. 上海科学出版社, 1981, 103—111.