

# 浑水的声衰减

许能贵 殷志贤

(中国科学院声学研究所)

1983年9月6日收到

黄河水含有大量悬浮细粉沙,它是一种泥沙混合物的悬浮液,声波在其中传播时有严重的衰减。无论是从声波在浑水介质中传播的物理研究,还是从黄河治理所用的水声设备角度来说,研究并实际测量黄河浑水介质的声衰减都是一项有意义的工作。若在黄河现场进行较全面的声波衰减的测量,是有很大的困难性和局限性的,这就有必要在实验室内人为的制造“黄河浑水”。为此,我们从八二年的下半年开始筹备,经过半年多的努力,从制造浑水到实际测量,现已告一段落。

## 一、人工浑水的产生

一九八二年十月,我们从开封柳园口黄河地段42号坝运回了黄河水沉积形成的河滩泥沙。经开封地区水利局科研所分析测量,泥沙性质为:

名称:重粉质沙壤土

粒度分配:粒径为2—0.05mm占18%,粒径为0.05—0.005mm占75%,粒径为0.005mm以下占7%。经我们测量,泥沙比重为2.51。我们将泥沙放入高约为1.2M、直径约为1.1M的圆桶内,加以适量的自来水,用螺旋搅拌器在桶内匀速搅拌,便形成了人工的黄河浑水。含沙量的测量是采用比重瓶进行比较测量的。人造黄河浑水的均匀特性和沉积情况分别如图1和图2所示。

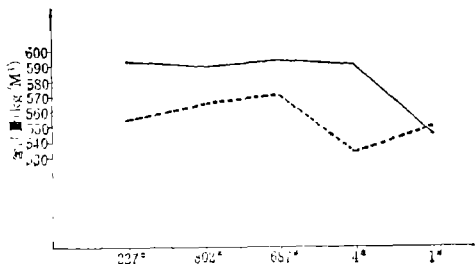


图1 水平均匀性(水下0.6m,间距0.15m,搅拌45min)  
——停机45min后测量, ----停机37min后测量。

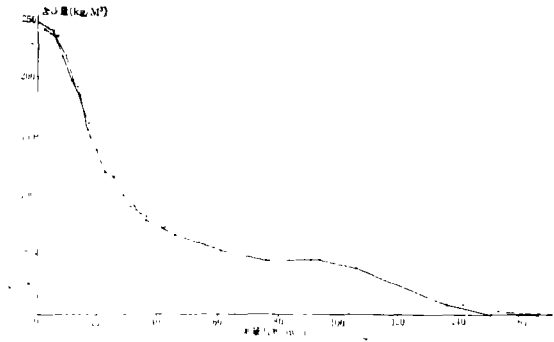


图2 42#坝河滩“重粉质沙壤土”加水搅拌  
· · · 3.5小时停机后沉积特性,  
×××3小时停机后沉积特性。

## 二、测量原理和方法

水声学的基本原理指出,声波在介质中传播时的能量损失可以认为是由于扩展和衰减所引起的损失之和。根据声呐方程,我们可列出方程式:

$$SL - g(r) - \beta r = 20 \lg e - M \quad (1)$$

式中  $SL$  是发射信号的声源级 (dB),  $g(r)$  是声波扩展损失 (dB),  $\beta$  是衰减系数 (dB/m),  $r$  是发射点至接收点的距离 (m),  $e$  是接收系统输出电压 (V),  $M$  是接收水听器 and 接收系统增益的总效应 (dB)。

测量中所布设的测量阵如图3所示。根据



图3 测量阵的布设

方程(1)，我们可以得到接收点1和接收点2的声呐方程为：

$$SL - g_1 - \beta r_1 = 20 \lg e_1 - M_1 \quad (2)$$

$$SL - g_2 - \beta(r_1 + r_2) = 20 \lg e_2 - M_2 \quad (3)$$

经整理后得到

$$\begin{aligned} \beta r_2 &= 20 \lg(e_1/e_2) + (M_2 - M_1) + (g_2 - g_1) \\ &= 20 \lg A + B \end{aligned} \quad (4)$$

由于清水中的声衰减  $\beta = 0$ ，我们便可先测量出清水桶中两路接收系统的输出幅度比  $A_0$ ，由方程(4)可知

$$20 \lg A_0 = -B \quad (5)$$

我们再测量出浑水中两路接收系统的输出幅度比  $A_1$ ，便可测出浑水中声波衰减系数  $\beta$ ，即：

$$\beta = 20 \lg(A_1/A_0)/r_2 \quad (6)$$

$r_2$  是两个接收水听器之间的距离，由实际测量给出。

在有限容积的桶内发射脉冲声波所形成的干涉声场会对测量带来困难。为了避免声场干涉现象的影响，我们除了合理布设测量阵外，采用了两路信号的瞬态  $(3/2\pi - 5/2\pi)$  幅度比较，这不仅保证了测量的正常进行，还扩大了测量频率的下限。

### 三、测量装置及连接框图

测量装置如图4所示。

发射机发射一定功率的脉冲声波，经水介质传播后由水听器1和水听器2接收，经放大后送7T08型数字信号处理机，对两路输出信号同时进行数字采集，并由绘图仪画出两路信号波形，再比较两路信号幅度大小便可根据方程式(6)计算出浑水中的声波衰减。

应用声学

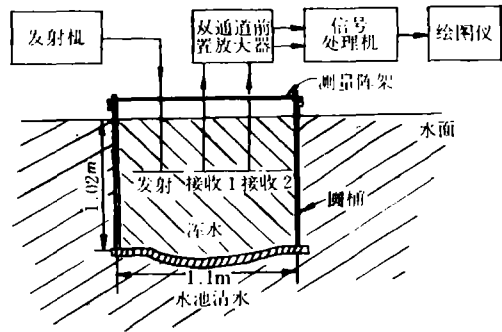


图4 测量装置连接图

### 四、测量结果与分析

图5描述了三种不同含沙量浑水衰减对频率的依赖关系。经最小二乘拟合得到的衰减对频率的依赖关系表达式为

550kg/m<sup>3</sup> 浑水:  $\beta = 0.48f - 1.527$ , 480kg/m<sup>3</sup> 浑水:  $\beta = 0.647f - 1.753$ , 190kg/m<sup>3</sup> 浑水:  $\beta = 0.309f - 1.712$ 。可见,浑水衰减与频率的

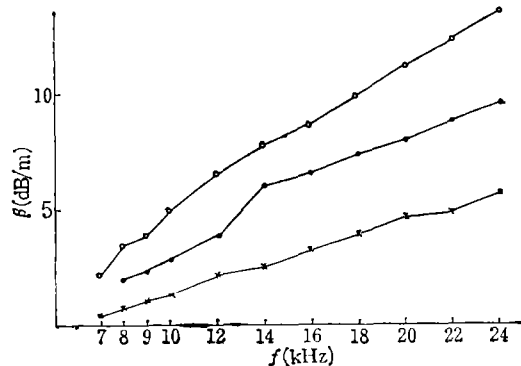


图5 不同含沙量的浑水衰减与频率的关系

... 含砂量 550kg/m<sup>3</sup> (539—558), ○○○ 含砂量 480kg/m<sup>3</sup> (464—488), ××× 含砂量 190kg/m<sup>3</sup> (180—192)。

关系是线性的,它的斜率与含沙量有关。而且,480kg/m<sup>3</sup>的浑水衰减要比550kg/m<sup>3</sup>的大,图6表示了在不同频率下浑水衰减与含沙量的关系,从图中我们可以看到含沙量在430kg/m<sup>3</sup>以下,衰减随含沙量的降低较快减少,而在430kg/m<sup>3</sup>以上,含沙量的变化对衰减的影响不大,在430kg/m<sup>3</sup>左右出现一个衰减的最大值,

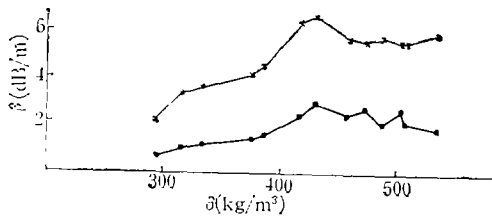


图6 衰减随含砂量的关系  
 $\times \times \times f = 14\text{kHz}$ ,  $\dots f = 10\text{kHz}$ .

此时的体积浓度为 17.8%。

高浓度的粘土和沙的悬浮液中的声传播,在近代声学 and 海洋地层沉积物的物理特性上都占有重要地位,因此,对它的研究工作很早就开始了,并且是有成效的。Urlick<sup>[1]</sup>早在 1948 年就利用超声脉冲技术在 1MHz 至 15MHz 的范围测量了低浓度的高岭土悬浮液中压缩波的衰减,他指出:平均粒子直径为  $1\mu\text{m}$ 、比重为  $2.66\text{g}/\text{cm}^3$ 、频率为 1MHz 的声衰减差不多随粒子的体积浓度线性增加,约在 15% 的浓度达到最大,然后就下降了。Hampton<sup>[2]</sup>于 1967 年测量了 100kHz、平均粒子直径为  $2\mu\text{m}$  的高岭土悬浮液的衰减和体积浓度的关系,还测量了一定体积浓度下衰减和频率的关系。McCann<sup>[3]</sup>于 1969 年给出了高岭土悬浮液声衰减的计算公式,并将计算结果和 Hampton 的实验结果进行了比较,但是,他的理论公式并不适用于细粉沙悬浮液——黄河浑水。正如他在文章的最后所说明的:这个理论假设对高岭土悬浮液是合理的,但对于混合物譬如沙和高岭土是不适用的。对于衰减系数的比例常数和粒子直径的关系,1980 年 E. L. Hamilton<sup>[4]</sup>的文章做了很好的说明。

我们将自己的测量结果和有关研究成果比较,可以得出如下的结论

1. 悬浮液中声衰减与其体积浓度的关系有一个极大值,低浓度的衰减随浓度线性上升比较快,高浓度下的衰减随浓度下降的比较慢。

黄河浑水是细粉沙悬浮液,它对声波衰减与含沙量的关系符合一般规律,即黄河浑水在含沙量为四百多公斤时会出现最大。

2. 悬浮液中声衰减与频率成线性关系,黄河浑水也是如此。

3. 黄河水中的细粉沙的平均直径为  $36\mu\text{m}$ 、最大平均直径为  $50\mu\text{m}$  (花园口水文站提供),它们分别处于粒子径度和衰减比例常数关系曲线 [2] 中最剧烈的变化和最大范围中。这就导致了黄河浑水对声波的衰减不仅是大,而且变化也大。例如:我们测量含沙量为  $190\text{kg}/\text{m}^3$  (体积浓度为 7.88%) 的浑水,在 20kHz 时的衰减为  $5.47\text{dB}/\text{m}$ ,而 Hampton 测量的  $2\mu\text{m}$  直径的高岭土悬浮液,体积浓度为 30% 左右时,20kHz 的衰减是  $1.64\text{dB}/\text{m}$ ,两者相差 3.3 倍,如果是相同的体积浓度那差异会更大。

这次浑水声衰减的测量,还测到了低含沙量—— $(158-125)\text{kg}/\text{m}^3$  和  $(95-86)\text{kg}/\text{m}^3$  的浑水在 12kHz 至 24kHz 频率范围的声衰减,这和黄河的情况更为接近。由于时间和条件的限制,这次测量的频率范围低端还不够,在 50kHz 至 100kHz 的高频端也未进行测量,浑水的含沙量也不够充分大和充分小。我们正考虑用新的方法加以解决。本次测量的系统误差在 5%。

这次浑水声衰减测量,从筹备到文章的整理都是在黄曾昭副教授的具体指导和帮助下进行的,在此表示深深的感谢,测量工作是在我所水池内进行的。对在工作中给予关心、帮助的同志们表示谢意。

### 参 考 文 献

- [1] R. J. Urick, *J. Acoust. Soc. Am.*, **20**(1948), 283.
- [2] L. D. Hampton, *J. Acoust. Soc. Am.*, **42**(1967), 882.
- [3] C. Mc Cann, *Acustica*, **22**(1969/1970), 352.
- [4] E. L. Hamilton, *J. Acoust. Soc. Am.*, **68**(1980), 1313.