

利用超声测量水中含沙量垂线分布的方法

贾春娟

唐懋官

(山东工业大学电力学院 济南 250061) (武汉水利电力大学水利所 武汉 430072)

1996 年 10 月 15 日收到

摘要 本文根据超声反射式测沙的原理,跟踪超声波在水中的传播,实时采集并获取含沙量沿垂线的分布规律。测量所发射的一次超声脉冲,可得含沙量分布的瞬时特性;多次发射并取平均法,则可提高测量的精度。利用这种测沙技术,可研究在各种流速下,含沙量的分布及其运动机理;如果加大探头的功率,有可能探测江河中含沙量沿水深的分布规律。

关键词 超声反射,含沙量,垂线分布,自动测试

Utilizing ultrasound to measure the vertical distribution of sediment concentration in water

Jia Chunjuan

(Shandong University of Technology, Jinan 250061)

Tang Maoguan

(Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering, Wuhan 430072)

Abstract Base on the principle of ultrasound reflection, this paper discusses how to follow up the spread of ultrasound in sandy water, sample real-timely and obtain the vertical distribution of the sediment concentration. Through measuring one ultrasound impulse, we can measure the instantaneous sediment concentration distribution; and try measurements for many times, the precision can be raised. Utilizing this technique, we may study the sediment concentration distribution and the movement mechanism under various streamflow. If we enhance the power of the probe, we might measure the sediment distribution along its depth in a river.

Key words Ultrasound reflection, Sediment concentration, Vertical distribution, Automatic measurement

1 引言

目前,无论是在水文观测还是在泥沙研究领域,水体中的含沙量测量问题一直受到关

注。为了更好地解决泥沙的测试问题,不少学者都致力于研究各种不同的泥沙测试技术及方法,以提高测量的精确度及效率。本文正是针对这一问题,提出了利用超声波反射进行含沙

量沿垂线分布测量的新方法，这在实践上不失为有意义的探索。

2 用超声波测量浓度分布的基本原理

当超声波在含沙水体中传播时，一方面在水与沙粒间会产生反射或散射，其反射或散射的强弱与含沙水体的浓度有关；另一方面，随着传播距离增加，能量会逐渐衰减。武汉水利电力大学利用超声波在水沙两相流中所呈现的这些特性，研制两种测沙仪器：其一是反射式测沙仪^[1]；其二是衰减系数法测沙仪。

本文是在反射式测沙仪的基础上，进一步探讨利用超声波在浑水中传播时的后向散射，实时采集并获取含沙量沿垂线的分布规律^[2]。超声反射式含沙量垂线分布测试法，是将超声探头置于含沙水体的液面，并向浑水中发射超声脉冲，利用探头下沿垂线泥沙对超声的反射或散射，在不破坏流场的情况下，做到无接触并实时测量含沙量垂线分布。测试的基本原理是：当超声波在含沙水体中传播时，由于沙粒的存在而产生的反射或散射信号为探头所接收，即产生回波，回波的强弱与沙粒的浓度有关^[3]，而回波信号又可以转换成电信号记录下来，从而达到测沙的目的。

超声波在浑水中传播时，由于悬浮颗粒距探头的距离不同，而回波的时间不同，即：

$$T = \frac{2L}{C} \tag{1}$$

其中： L— 悬沙粒子距探头的距离；
C— 超声波在浑水中的声速；
T— 回波时间。

超声波在浑水中传播速度基本恒定，这样，不同时间段内所接收到的回波强弱，即对应于垂线上不同区段的泥沙浓度，这就是用超声波测量含沙量垂线分布的原理。

3 测试系统^[4]

含沙量垂线分布测试系统包括超声换能器，超声波测试仪， MCS-51 单片机数据采集与通讯部分， IBM486 微机数据分析与图形显示部分。系统的总体框图如图 1 所示：

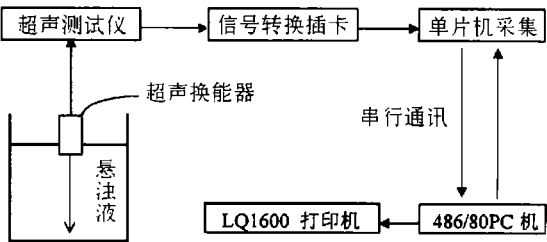


图 1 含沙量垂线分布测试系统

超声波换能器用来发射和接收超声脉冲波，超声波测试仪与换能器共同组成超声波测量的基本部分。为了对与水面接触的探头，在发射一次超声波脉冲时，跟踪其传播过程，采集沿垂线各点（沿线上每 1.7cm 为一段，并以其中心点来表示）泥沙的散射信号，从而测量含沙量及其分布规律，我们采用单片机定时采集技术，使整个测试系统快速、实时。本系统还采用 PC 机作为数据处理与图形显示设备，并专门设计了含沙量分布测试的系统软件，使系统有很强的数据处理与图形显示功能。

4 应用于水槽上的实测试验

用所研制的含沙量垂线分布测试系统，进行了大量试验研究。结果表明，用超声反射法进行含沙量垂线多点同时测试时，置于水面探头所接收被测区域粒子群的平均散射声强，与该区域悬浮液的平均浓度呈线性关系；与沙粒粒径及所测区域距探头的深度有比较复杂的关系。除此以外，沙样的成份、粒配情况、探头的灵敏度、测试仪特性等因素都将对测试结果产生一定的影响。

在此基础上，我们提出如下的含沙量垂线分布测试方法：依据探头所接收的平均散射声强与浑水的平均浓度呈正比的规律，分浓度按不同深度进行标定，从而达到用超声反射法进行含沙量垂线分布测试。而且，标定的同时也消除其它各种因素（如粒径、换能器等）的影响。用超声波反射法进行含沙量测试时，如果沙样确定（即沙样的粒配情况已知），那么后向散射强度均值 (I) 仅为平均浓度 (S)、深度 (H)

的函数, 即 $I=F(S, H)$. 通过对已知浓度的标准液进行测定, 得到浓度与声波强度均值在不同深度时的对应关系, 在此基础上, 根据探头在实测时所接收到的各点散射声强, 换算出各点的实际含沙量.

综上所述, 根据超声反射式含沙量垂线分布测试法, 利用所研制的含沙量垂线分布测试系统, 可以实现对水槽或模型上任意点的含沙量垂线分布测试. 其测试过程包括两部分: 一是通过对浓度已知的悬浮液进行测试, 得到不同深度时的散射声强均值与平均浓度的对应关系, 即标准率定曲线族. 其次是通过实测数据与标准率定曲线比较, 经过相应换算之后, 得出垂线上各点得含沙量平均浓度. 而且, 针对以上过程, 专门用 Visual Basic 语言, 设计了基于 Windows 平台的含沙量垂线分布测试软件系统, 使得整个过程完全计算机处理, 集成度高、实时性强而且结果显示形象、直观.

对于应用超声波在实际中进行含沙浓度垂线分布的测试试验, 是在长江水利委员会长江科学院河流所进行的. 下面是在循环水槽上进行的一次测试试验. 试验选用的是粒度有一定分布的黄河天然沙, 中值粒径为 0.04mm , 其中大于 0.1mm 和小于 0.01mm 的部分均不超过 10% , 沙的比重为 2.65Kg/m^3 . 测试使用换能器的主频率为 2.5MHz , 且每次测试均以 200 次发射的平均值为一次测量结果, 发射超声脉冲的间隔周期为 3ms . 测试分以下两个步骤:

4.1 获取标准率定曲线

标准率定曲线的获取是通过对上述沙样, 配制成浓度分别为 0.4Kg/m^3 、 0.7Kg/m^3 、 1.0Kg/m^3 的样品, 依次放入直径 20cm 、高 60cm 实验筒中, 上下搅拌均匀后, 对探头下沿线各点进行测试而得 $I=F(S,H)$ 曲线. 结果如图 2 所示:

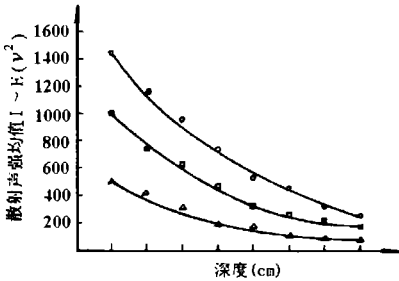


图 2 黄河天然沙标准率定曲线

- Δ 为浓度 0.4kg/m^3 时沿线各点测值
- $\square$ 为浓度 0.7kg/m^3 时沿线各点测值
- $\circ$ 为浓度 1.0kg/m^3 时沿线各点测值
- 为用最小二乘法拟合的趋势线

4.2 水槽测试结果

图 3 是水槽测试时的示意图, 其中水池的体积为 8.3 立方米, 流速、水位均可调, 玻璃槽为一盲肠, 以精确控制水位, 测点选取在流速稳定区.

水槽实测时, 首先通过加沙控制浓度 (指的是整个循环水系统中单位体积内干沙的重量), 使分别为 0.5 、 1.0 、 1.2 , 分别将探头置于测点, 并以刚浸入液面为宜, 然后进行测试, 测试数据如表 1:

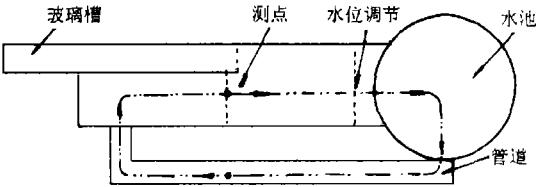


图 3 水槽测试试验示意图

表 1 加沙浓度分别控制在 0.5kg/m^3 、 1.0kg/m^3 、 1.2kg/m^3 的计数值 (I)

浓度 kg/m^3	深度 (cm)							
	3.8	5.5	7.2	8.9	10.6	12.3	14	15.7
0.5	364	381	298	224	181	146	106	97
1.0	624	427	343	296	359	276	243	221
1.2	730	601	503	620	514	478	359	291

4.3 实测结果与分析

根据循环水槽上的实测数据表 1, 以及相同测试条件下所获取的率定曲线 $I=F(S,H)$ (图 2 所示), 经过相应计算后, 得出用超声反射垂线测试法测出的沿线各点泥沙平均浓度实测值, 如图 4 所示 (图中用圆点表示), 细线为用最小二乘法拟合出的沿垂线泥沙浓度的分布曲线. 作为一种对照, 我们用传统的测沙方法—虹吸法对水槽内同一测点, 自水面下沿垂线定点取样, 然后测各点的泥沙浓度, 测试结果也列在图 4, 用 * 表示.

5 结论

本文提出的超声反射式含沙量垂线分布测试法, 利用所研制的含沙量垂线分布测试系统, 进行了大量的试验研究及实测试验. 我们认为这种声学技术应用于测沙领域的新方法, 无论是在理论上还是实践上, 都有广阔的前景. 本文结论主要有以下几点:

(1) 应用这种方法, 在低含沙量 ($2.5\text{kg}/\text{m}^3$ 以下) 时, 可以对水面下 20cm 范围内含沙量及其分布快速、实时测量, 并且图形显示.

(2) 跟踪超声波传播过程进行采集, 各点的含沙量分布具有严格的瞬时性.

(3) 200 次测量取平均时, 低含沙量的测量误差满足实际要求.

(4) 本测试系统可以应用于声学测试理论研究, 为声学监测方法和技术的深入应用可起促进作用.

参 考 文 献

- 1 唐懋官, 舒乃秋. 武汉水利电力大学学报, 1982, 3: 48-51.
- 2 贾春娟. 超声反射法含沙量多点测试初探, 武汉水利电力大学博士论文, 1996 年.
- 3 阎玉舜, 汤建明. 应用声学, 1992, 11(2): 13-16.
- 4 李华. MCS-51 系列单片机实用接口技术. 北京, 北京航空航天大学出版社, 1993 年.

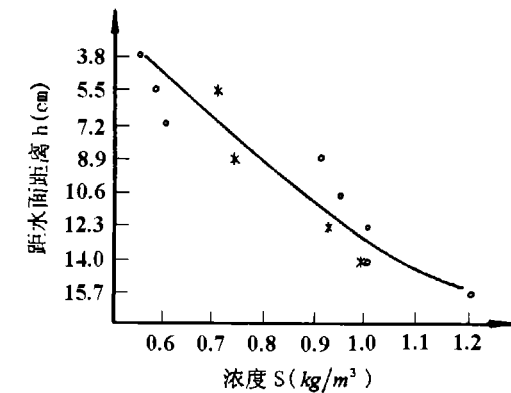
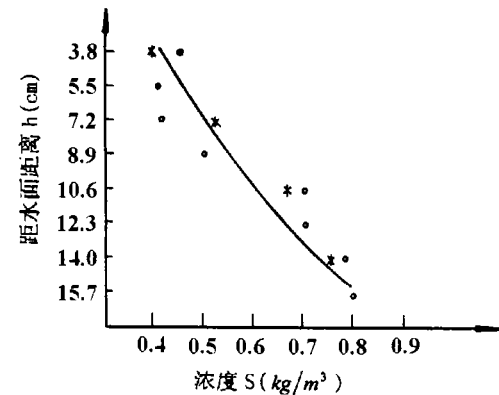
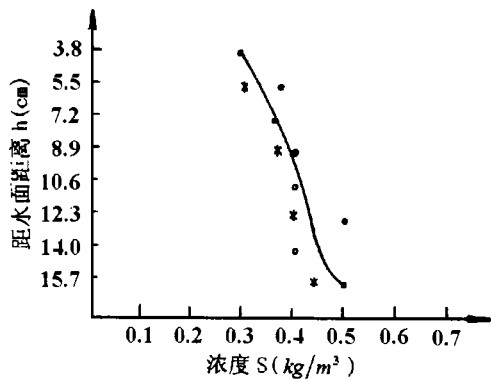


图 4 在水槽上用超声法分布测试以及虹吸法测试结果