

从光电二极管视频输出的总电荷 Q 为

$$Q = Q_{IF} + Q_d, \quad (5)$$

其中 Q_{IF} 是由中频信号产生的电荷, Q_d 是由二极管阵元暗电流引起的电荷, Q 为光电二极管输出的饱和电荷, l 为A/D转换器的bit数, e 为电子电荷, B 为每一阵元的带宽, τ 为积分时间。

Reticon RL1024H H/20 输出饱和电荷 Q , 为 2.2×10^{-12} (C)。在室温 20°C 时,暗电流 I_d 为 0.5×10^{-12} A。与其相对应的暗电流电荷 $Q_d = I_d \tau = 0.25 Q_i \tau$ (C)。

欲使这些噪声小于0.25dB(即增量为6%),则由

$$\left(\sum_i N_i^2 + N_{IF}^2 \right)^{1/2} / N_{IF} < 0.25\text{dB}, \quad (6)$$

$$\text{可得 } \left(\sum_i N_i^2 \right)^{1/2} / N_{IF} = 0.35. \quad (7)$$

经变化可得: $N_i / N_{IF} = 2meB\tau / Q_i = 0.2$ 。(8)

其中 $m = \frac{Q_i}{Q_{IF}}$ 。如要观测水分子,我们可取 $m = 100$,则 $\tau < 70\text{ms}$,我们取 $\tau = 30\text{ms}$ 进而可得关系式

$$N_q / N_{IF} = mB\tau 2^{-(e+1)} = 0.2, \quad (9)$$

由上述诸量可得 $l \geq 12\text{bit}$,我们取12bit。这样,可获较理想的灵敏度。

六、结 论

我们研制了一种频率分辨率高,灵敏度高,稳定性好的频谱仪。该仪器适合于观测宇宙分子的精细结构,和弱信号的长时间积分。

由于青海站13.7m射电望远镜正处安装调试阶段,mm-波声光射电频谱仪还没有与天线连接进行天文观测。

参 考 文 献

- [1] CCole, T. W., Stewart, R. T., et al., *Astron., Astronophys.*, 67(1978), 277—279.
- [2] Cole, T. W., Ables, T. G., *Astron., Astronophys.*, 38 (1974), 149—153.
- [3] Kaifu, N., Ukita, N., et al., *Publ. Astron. Soc., (Japan)*, 29(1977), 429—435.
- [4] Wang Jing-sheng, Hang Geng-chen, et al; *Prog. Cryst. Growth & Charact. (GB)* 11-4 (1985). 275—282.
- [5] Lambert, L. B., IRE National Convention Record, Vol. 10, Part 6, 1962, 69—78.
- [6] Hecht, D. L., *Optical Engineering*, 10-5 (1977), 461—466.
- [7] Yano, T., *Appl. Phys. Lett.*, 26(1971), 689—691.

用超声技术测量河流含沙量的研究

刘玉英 刘增厚

(中科院山西煤化所)

任志德 李风林

(山西省水文总站)

1988年5月9日收到

本文介绍了一种应用超声在液固两相介质中传播衰减的原理监测河流含沙量的仪器,该仪器结构简单,操作方便,测量迅速,不需采样分析。经实验室模拟试验和现场实际测量,基本能满足水文测试的要求,可以根据需要测量任一瞬间,任一位置的河流含沙量,并能连续记录沙量变化的全过程,为泥沙的自动化观测创造了条件,是泥沙测量技术的一种新途径。

一、前 言

泥沙测验的目的主要是为掌握河流泥沙运

动规律,河床冲淤变化,沙量平衡计算,水土流失规律及治理效益,水资源开发与利用等提供确切的泥沙资料。多年来,沿用人工取样分析的器测法,这种方法工作效率低,劳动强度大,

分析周期长,分析工作量大,不能满足在线连续快速测沙的需要。近年来,泥沙测验技术虽有改进和提高,但仍然满足不了泥沙测验工作的要求。为了适应水文水利工作的需要,我们研制了超声测沙仪,经实验室模拟试验和现场实测,基本能满足水文测试的要求。

二、超声测沙原理

超声波在液体中进行传播时,遇到悬浮粒子将发生散射衰减。如果声源的强度为 $I_0(\text{W}/\text{cm}^2)$,则接收点的信号强度 I_x 可用下式表示^[1]:

$$I_x = I_0 e^{-2\alpha x} \quad (1)$$

式中, x 是发射与接收元件间的距离, α 是衰减系数,衰减系数 α 可用下式表示

$$\alpha = (A_{i0}f^4 + A_{i0}f^2 + A_{v0}f)c \quad (2)$$

式中 A_{i0} 为对应于散射的衰减项, A_{i0} 为对应于悬浮粒子内部摩擦的衰减项, A_{v0} 为对应于液体粘性的衰减项, f 为超声波频率, c 为悬浮粒子的浓度,而且

$$A_{i0} = \frac{2\pi^4 a^3}{C_s^4} \left[\frac{3}{4} (1 - \gamma^2) + \left(\frac{\delta - 1}{\delta + \frac{1}{2}} \right)^2 \right] \quad (3a)$$

$$A_{i0} = \frac{2\pi^2 K_v K_z}{C_s} \quad (3b)$$

$$A_{v0} = \frac{9\pi}{4\beta a C_s} \left(\frac{\delta - 1}{\delta + \frac{1}{2}} \right)^2 \quad (3c)$$

式中, a 是悬浮粒子的半径, C_s 是悬浮液中的声速, γ 是液体与悬浮粒子的压缩比, δ 是液体与悬浮粒子的密度比, K_v 是悬浮粒子的体积粘度系数, K_z 是悬浮粒子的压缩系数, β 是由粘性所决定的横波传播常数。

从式(2)可以看出,如果悬浮液的种类是一定的,则式中右边括号内各项的数值(当 f 给定)都是一定的,因而超声波的衰减系数 α 与悬浮粒子的浓度 c 成比例。于是我们可以通过测量超声波声强的相对衰减量来测量水中的含沙量。

三、仪器的设计

1. 频率的选择

从公式(2)可知,超声在悬浮液中的衰减与悬浮粒子的粒径有关,而河流中悬浮沙粒径是个变化量。由于沙粒径的变化,尽管沙量不变也将导致衰减量的不同,测量误差也会加大。根据文献[2],对于某种液固两相介质,超声衰减系数 α 与粒径的函数关系,随着固体粒子的粒径变化,可分为散射衰减区,粘滞衰减区和衍射衰减区三个区域。而在散射衰减区到粘滞衰减区的过渡段,有一个衰减系数在一定范围内不随粒径变化的平滑区,这个区域内粒径可变化的范围却与所用频率有关。这样我们可以通过选择适当的频率,使粒径在一定范围内变化对超声衰减没有影响或影响较小。我们根据历年来汾河干流泥沙粒径的变化范围,即中径 d_{50} (0.005mm—0.038mm),平均粒径 $\bar{d}$ (0.016mm—0.0455mm),通过计算来确定换能器频率。

2. 换能器的安装^[3-4]

换能器频率选定后,根据其发射功率要确定发射与接收换能器之间的距离。根据山西省历年来泥沙分析资料,河流中含沙量是在 $800 \text{ kg}/\text{m}^3$ 以下变化。在一定的发射功率下,接收超声波穿过 $800 \text{ kg}/\text{m}^3$ 含沙量的水衰减后,要保证换能器能接收到足够的衰减信号,同时还要考虑到样品的代表性和一定的分辨率。综合以上诸因素,经计算和多次实验,确定了发射和接收换能器之间的距离。实际测量结果表明,在含沙量为 $800 \text{ kg}/\text{m}^3$ 时接收换能器仍然接收到足够的超声波衰减信号。然后将发射和接收晶片按选好的距离平行对中,严格密封封装在换能器壳体内。换能器壳体用防水密封式铜壳,传输线用屏蔽橡胶套硫化密封引出水面,接到测试仪器上。

3. 电路的设计

根据所选频率来设计电路。电路的原理框图如图1所示,它是由振荡器驱动发射电路使其产生高压脉冲信号加到发射换能器,激励压

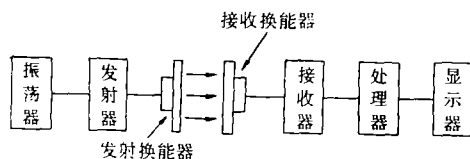


图 1 电路原理框图

电晶片使其产生超声辐射,超声波穿过一定距离的含沙水以后,被接收换能器接收并转变为电信号,经接收电路进行放大和数据处理后,显示出随含沙量变化的电信号。

四、模拟与现场试验

1. 实验室模拟试验

为了考察仪器的稳定性,测量精度以及不同的粒径、流速、温度条件下对实测含沙量的影

响,同时为了标定仪器的工作曲线,我们在实验室安装了模拟测试系统,试验中采用的是汾河天然沙。

2. 工作曲线的标定

为标定工作曲线,在模拟测试系统中加入汾河天然沙进行试验,实验沙中径为 0.022mm ,平均粒径为 0.028mm ,经调速搅拌对水样进行均匀搅拌,用比重瓶在对应换能器处取样,用置换法分析含沙量^[9]。这样不断改变沙量,就得到一系列不同的指示值与含沙量对应的试验数据,用图解相关的方法得出工作曲线,如图 2 所示,相关系数 $r = -0.96$,标定曲线的精度,当含沙量为 $10\text{--}500\text{kg/m}^3$ 时,相对均方误差为 $\pm 4.66\%$ 。为了检验仪器标定曲线的稳定性,经两次抽样检查,相对均方差为 $\pm 4.7\%$ 和 $\pm 5.4\%$ 。

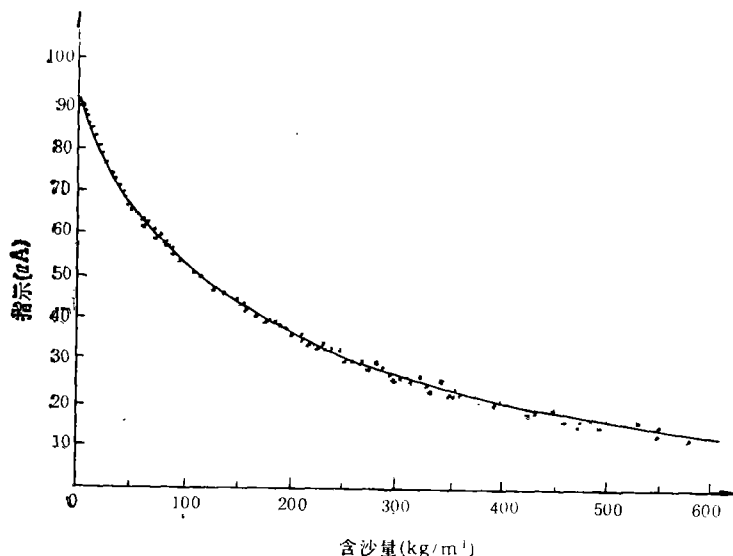


图 2 工作曲线

3. 现场试验

(1) 1987 年 3 月在太原上兰村水文站用超声测沙仪进行了现场实测,测试方法是将测量探头固定在缆道的测杆上,随着测杆的移动,可测河流中不同位置所对应的含沙量。与取样法对照实测单沙过程如图 3 所示,在 29 个测点中,与取样法相比,相对误差小于 $\pm 10\%$ 的点占

总点数的 75.9%,总的相对均方差为 $\pm 8.6\%$ 。

(2) 1987 年 8 月汾河水库放水,在太原上兰村水文站用超声测沙仪进行了现场实测。测试方法是用斜坡测沙架吊装探头,随水位变化移动测沙架来测试各点含沙量,与取样法对比,相对均方差为 $\pm 6.3\%$,与取样法对照实测单沙过程如图 4 所示。

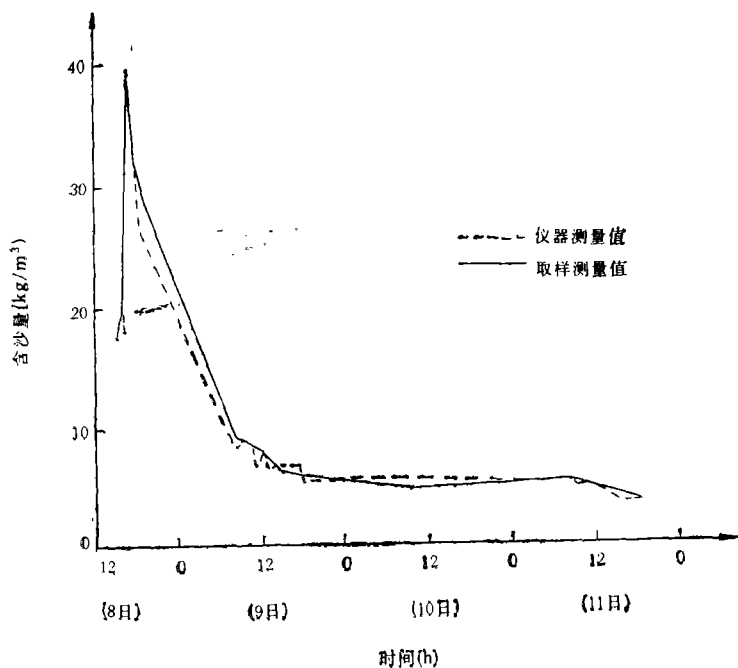


图3 与取样法对照实测单沙过程

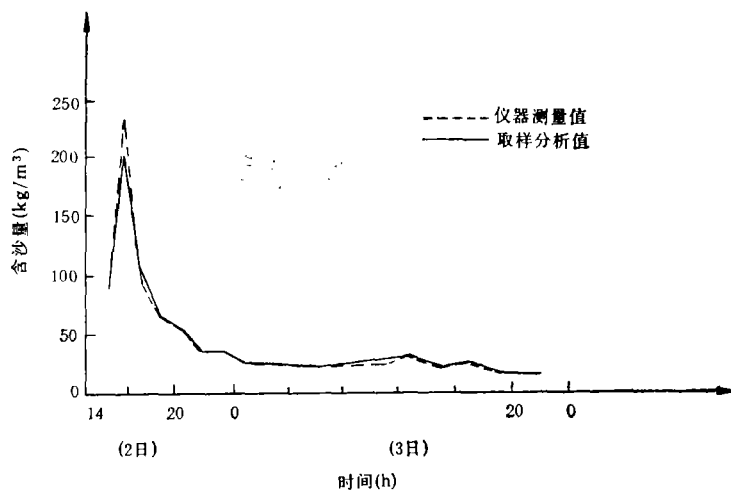


图4 与取样法对照实测单沙过程

(3) 1987年9月在陕西吴堡水文站用超声测沙仪进行了黄河含沙量的现场实测。由于没有用当地的水和沙作标定,而采用的是汾河标定曲线与黄河取样实测数据进行的比较。与取样法对比,相对均方差为 $\pm 8.2\%$,与取样法对照实测单沙过程如图5所示。

(4) 自动记录测点含沙量连续变化过程。随着水文测验事业的发展,含沙量的自动记录

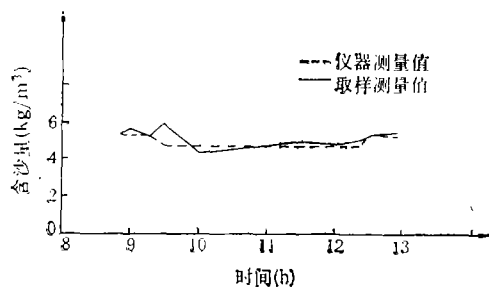


图5 与取样法对照实测单沙过程

问题急需解决,超声测沙仪可接记录器将河流中含沙量的连续变化记录下来。

五、影响测量的因素分析

1. 流速的影响

通过模拟试验和现场试验,我们认为流速在0—5m/s的范围内变化,对仪器的测量没有影响。

2. 取样误差

由于标定曲线是根据取样的分析值来确定的,而在实际测量中,河流悬浮沙是不均匀的,用横式采样器取样很难与测量头测点相对应,这样将产生测量值与分析值之间的误差。

3. 水中气泡的影响

如果水中混有气泡,将引起超声衰减的增大,使测量误差加大。经现场实测,把测量头放在水流平缓区,气泡的影响可减小到测量误差范围以内。

4. 水温的影响

我们的试验结果表明,水温在0℃—30℃范围内变化,对超声衰减没有影响。

5. 沙粒径的影响

仪器设计时,考虑到沙粒径变化对测量结果的影响,因此我们将测量频率选择在超声散射衰减区与粘滞衰减区的过渡段,以保证即使粒径在一定范围内变化,衰减系数仍基本上趋于不变。1987年3月份河水库放水,在兰村水文站现场多次取样进行水样颗粒分析,根据实测情况来看沙粒径变化对测量结果的影响。粒径变化范围,中径0.008mm—0.067mm,平均粒径0.01mm—0.074mm,最大粒径0.097mm—0.739mm,在全部6个测点中,测量误差小于±10%的点占83%,由此可见沙粒径在以上范围内变化对测量结果的影响较小,同时也说明换能器频率的选择是合适的。沙粒径在更大范围内的变化对测试结果的影响有待进一步试验。

六、仪器的主要技术指标

1. 含沙量测量范围: 2—500kg/m³.
2. 测量精度: 5—50kg/m³, 误差≤±10%;
50—500kg/m³, 误差≤±5%.
3. 使用流速范围: 0—5m/s.
4. 直接放入时水深限制: >0.1m.
5. 环境条件: 气温: -10℃—40℃;
水温: 0℃—30℃.
6. 功率: 50W.

七、结束语

超声测沙仪作为一种连续在线的测量仪表,它可以根据需要测量任一瞬间,任一位置的河流含沙量,并能连续记录沙量变化的全过程;而且与缆道设备配合,可连续监测断沙和输沙率。这对研究泥沙的运动规律,抢测沙峰,及时通报沙情,水库冲沙管理和交通运输等方面都能提供有效的数据。

超声测沙仪结构简单,体积小,重量轻,造价低,携带方便,操作简单,测量迅速,不需要进行防护,不用采样分析,改善了测验条件和测验方法,减轻了劳动强度,提高了工效;尤其该仪器探头小巧,能测河流中任意一点的悬沙数据。因此,超声测沙仪作为一种新的测定方法,具有广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 古里,高悬浊液—污泥—の浓度计测,计装 1974,11月号,57—63.
- [2] U. S. P., 3,779, 070, 1973.
- [3] Liu Yuying, Luo Jialing, Yang Xunjin, Proceedings 5th International Symposium on Coal Slurry Combustion and Technology, p.533, Tampa, Florida, USA, 1983.
- [4] U. S. P., 3,791,200, 1974
- [5] 水利电力部水利司,水文测验手册, 1975.2.