

超声波在不规则截面渠道水流量测量中的应用研究

王晓玲¹ 徐永君² 刘曰武²

(1. 北京机械工业学院电子信息工程系, 北京 100085; 2. 中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要 介绍一种新型的测量不规则截面渠道的水流量超声波测量的原理与系统设计, 分析超声波在水流量测量中存在的问题以及解决方案, 特别是针对水的流动速度引起的测量误差进行了分析和计算, 并给出了修正公式。

关键词 水流量; 超声波; 测量; 修正

0 引言

水流量(Q)可以通过测量水流过的面积(S)和速度(V), 由公式 $Q = SV$ 求得。传统的水流量测量一般是测量管线中水的流量, 由于水流在管线中流过的面积是均匀规则的, 可以计算得到, 因此只需要用一般的流速计对水的流速进行测量后, 使用上述公式就可求得水的流量。不规则渠道, 如山区小溪的水流量测量需要解决的技术难点是测量不规则的水渠截面积, 其中测量水流的高度是解决问题的关键, 考虑到超声波测量水位高度的优越性, 本设计采用超声波测深仪采集各个点的高度(一般采用测量不同位置的几个速度点进行平均作为该截面的水流速度), 用公式(1)计算。

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (h_i + h_{i-1}) d \quad (1)$$

式中: d 为采样间距; h_i 为第 i 点水深; n 为采样点数; S 为水渠截面积。

不规则截面水渠流量测量方法示意图如图 1 所示。将水底连续截面曲线离散成为有限采样点, 采样间距可以由用户自行选择, 利用超声波测深仪测量各采样点水深后, 深度数据输入至单片机系统, 经过计算得出水渠截面积后, 再用流速计测得水流的速度, 它们相乘得到水的流量。

1 系统工作原理

测量系统示意图如图 2 所示。单片机通过控制电路驱动步进电机, 步进电机的轴与主动滑轮配合,

带动其旋转, 主动轮与从动轮通过钢丝绳带动滑块在导轨上水平移动, 与滑块相连接的测头固定杆使测头可以在水面上移动。由于单片机对电机的控制作用, 超声波测头每前进一定距离就可以把水面高度反射波信号输入至超声波测深仪变为水面高度信号, 经过单片机数据处理得到水渠的截面积。将流速计测得的水流速值输入至单片机, 通过单片机计算得到水流量值, 最后用显示器显示出结果。

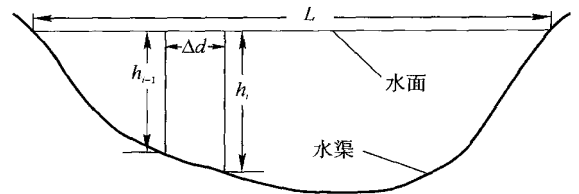


图 1 不规则截面水渠流量测量方法示意图

2 超声波测深仪工作原理

本设计采用的超声波测深仪是专为测量水深所设计的, 使用的是脉冲反射法。脉冲反射法是用超声波探头向被测物体发出超声脉冲, 此超声脉冲便在被测物体体内传播, 传播至被测物体的底面时发出反射, 反射回来的超声波又被超声波探头接收。这样, 从超声波探头发出超声脉冲到超声波探头接收到反射脉冲所用的时间 t 可通过电路精确地检测出来。在 t 时间内超声波在被测物体体内完成了一个往返, 如果被测物体的深度用 h 表示, 超声波的总行程就是 $2h$ 。由于声波在某一物体体内传播的速度 c

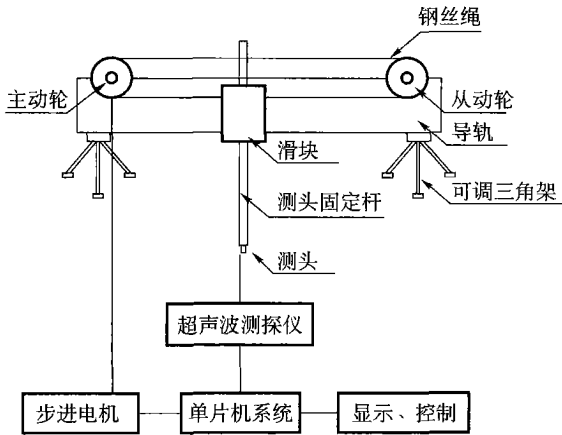


图2 测量系统示意图

是常数, (例如: 钢的声速是 5950m/s , 石英玻璃的声速是 5570m/s , 水的声速为 1480m/s) 所以被测物体的深度可由式(2)算出。

$$h = ct/2 \quad (2)$$

测深仪的实际工作过程由图3加以说明。以水深测量为例, 首先由电路产生的高电压窄脉冲 T 输送给超声波探头, 超声波探头将高压电脉冲转变成同频率的超声波脉冲, 通过耦合剂传播至被测物体表面。其中一部分由被测物体表面反射回来, 为上表面波; 其余部分射入被测物体, 再从被测物体的底面反射回来, 为底面反射波。反射波又被超声波探头接收并转换为电信号送入电路, 则发射脉冲 T 与底面回波之间的时间间隔 t 即是超声波在被测物体中的传播时间。根据式(2)就可计算出水深 h 。

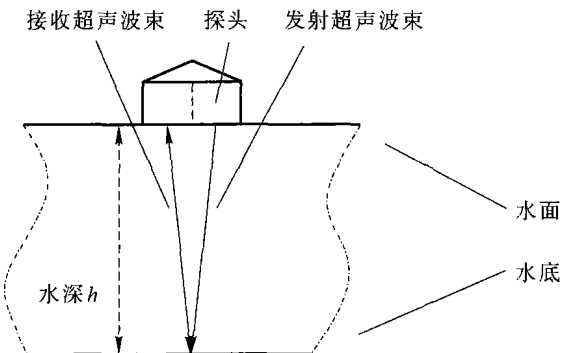


图3 超声波测厚示意图

超声波测深仪在水深测量应用中的优点:

- 1) 测量方便, 只需将测头与水面接触就可测得其水深(垂直测量);

- 2) 精度较高, 可将误差控制在毫米级以内;
- 3) 仪器输出为数字量, 便于单片机系统进行处理;

4) 自动化测量, 不需人工参与控制。

超声波测深仪在水深测量应用中的缺点:

- 1) 声波在介质(水)中的传播速度会因温度等的变化而改变, 导致测量结果产生误差;
- 2) 超声波的传播方向会因水的流速产生偏差, 导致传播时间 t 改变;
- 3) 由于超声波方向性好, 在介质底面为斜面时会发生散射, 导致测头接收不到回波。

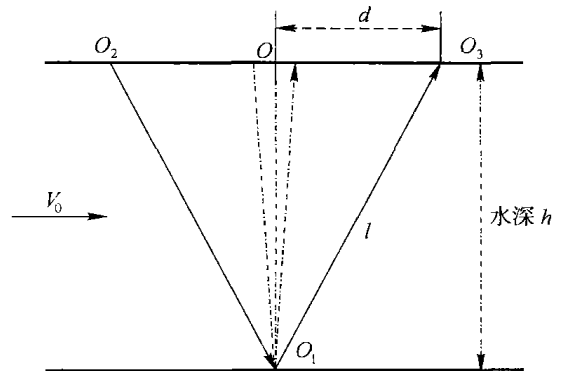


图4 静水和动水测量区别示意图

3 水流速度对测量结果的影响及修正

静水和动水测量区别示意图如图4所示。如果没有水流的流速影响, 超声波信号的路径为从发射点 O 到水底面 O_1 , 再从 O_1 返回到 O , 如图4中虚线所示。而测量流水的深度时, 由于水流影响了超声波的接收时间, 与静水深度测量相比较, 相当于超声波从发射点 O_2 到水底面 O_1 , 再从 O_1 返回到 O_3 , 即假设超声波被水流载波流过距离 $2d$ 后才被接收, 如图4中实线所示。

假设水流速度为 V_0 , 超声波发射和回波速度为 V_1 , 水深为 h , 则从发射到接收所需时间为:

$$t = \frac{2d}{V_0} = \frac{2\sqrt{h^2 + d^2}}{V_1} \quad (3)$$

可得到:

$$d = \frac{hV_0}{\sqrt{V_1^2 - V_0^2}} \quad (4)$$

进一步可得到实际测量值为:

$$l = \sqrt{h^2 + d^2} = \frac{hV_1}{\sqrt{V_1^2 - V_0^2}} \quad (5)$$

由上式可以推出由水流引起的测量相对误差为：

$$= \frac{l - h}{h} = \sqrt{\frac{V_1^2}{V_1^2 - V_0^2}} - 1 \quad (6)$$

从式(6)可知,测量误差与水的深度无关,仅与水流速度和超声波在水中传播的速度有关。已知超声波在水中传播的速度为 1480m/s,表 1 给出了不同水流速度引起的测量相对误差。图 5 是水流速度与测量误差的关系曲线。尽管误差随速度上升比较快,但通常测量对象的水流速度比较小,所以由水流速度引起的误差相对非常小,可以忽略不计。

表 1 不同水流速度引起的测量相对误差

水流速度 (m/s)	测量误差 (%)
1	0.000022827
10	0.002282766
20	0.009132003
30	0.020550526
40	0.036543031
50	0.057116099

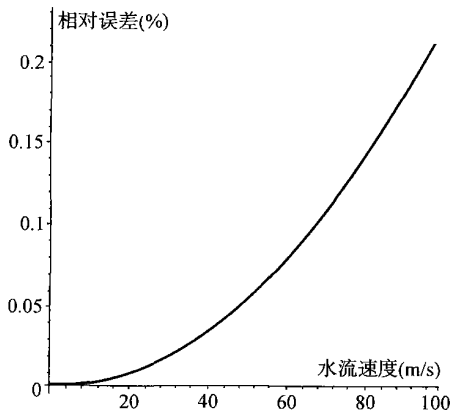


图 5 水流速度与测量误差关系曲线

由于测量误差与水的深度无关,仅需知道水流速度和超声波在水中传播的速度即可。而超声波在水中传播速度是知道的,所以只需要知道水流速度就可以知道测量相对误差。测量结果 l 的修正公式为：

$$h = \frac{l}{1 + \dots} \quad (7)$$

在现场测量中可以先用流速计测得水流速度,将其输入至单片机系统中,单片机根据修正公式自动修正测点的数据。

4 水渠斜底面测量

由于水渠底面是斜面,超声波探头有可能收不到回波信号,这时单片机程序自动控制测头水平向左及向右移动,直到探头找到回波信号为止。测头移动距离一般设为 1/10 个步距,如果一次找不到,可以再向左或向右移动 1/10 个步距,如果仍然没有信号,那么这个测点的水深度值可以估算为前一个点的值与后一个点的值的平均值。

由于在某一测量点,单片机通过串口读入的超声波测深仪测量数据是超声波测头多次回波得到的信号,数据较多,有些数据可能误差较大,需要剔除。在数据处理程序中需要用数字滤波子程序滤除误差较大的数据,保证采样精确度。数字滤波滤除的数据判据用如下的数学模型：

$$h_{i-1} - a \mid h_{i-1} - h_{i-2} \mid \quad h_i \quad h_{i-1} + a \mid h_{i-1} - h_{i-2} \mid \quad (8)$$

式中 a 为一常数,该常数的取值大小将影响滤波效果,因此 a 的取值由实验确定。符合式(8)的数据均为有效数据。滤除其中误差较大的数据后,得到 n 个有效数据,将其平均值作为该采样点最终测量数据。

5 结论

本文结合超声波测深技术和离散采样理论完成了不规则渠道的水流量测量系统的设计。经过实验,确定该系统满足设计要求。实际测量和操作过程中还可以采用同一截面在同样的测量条件和参数下反复测量,得到多个测量结果,利用误差理论,剔除粗大误差,对其余合理的数据取平均值,减小随机误差,提高测量精度。

参考文献

- [1] 黄学彬. 明渠流量测量和全自动明渠流量计. 云南民族学院学报, 1994, (2)
- [2] 苏文. 浅谈流量计的发展和现状. 中国仪器仪表, 2002, (6)
- [3] 王晓玲, 徐永君等. 不规则截面渠道水流量的超声波测量的原理与系统设计. 测试技术学报, 2005, (增刊)