

时差式超声波流量计测流控制系统

蔡守允 戴 杰

(南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210029)

摘要 :针对水利工程模型试验流量测量的各类仪器设备的优缺点,研究与开发了时差式超声波流量计测流控制系统,实现了流量测量的自动化控制,达到流量测量控制的高精度和高稳定性。研究成果已成功地应用于我国水利水电工程重大基础研究和公益研究项目。

关键词 :模型试验 ;传感器 ;流量测量 ;超声波 ;流量计

中图分类号 :TH814+.92 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2009)05-0071-03

Time-difference-type ultrasonic flow meter and control system for discharge measurement//CAI Shou-yun, DAI Jie
(Nanjing Hydraulic Research Institute, Key National Laboratory of Hydrology and Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China)

Abstract :According to the advantages and disadvantages of different kinds of hydraulic model discharge measurement instruments, the time-difference-type ultrasonic flow meter and control system for discharge measurement is developed and examined. Automatic control of discharge measurement has been implemented. High precision and high stability of discharge measurement and control have been attained. The results of this study can contribute to the success of important basic research and public welfare projects in hydraulic engineering in China.

Key words :model test ; sensor ; discharge measurement ; ultrasonic ; flow meter

1 流量测量的方法和仪表

水利工程模型试验中,除了对一些物理现象进行定性观察外,还需对许多物理量进行定量测量分析,流量就是一个重要的物理参数。流量测量方法和仪表种类繁多,分类方法也很多,速度式流量计、转子流量计、差压式流量计、质量流量计和明渠堰槽流量计是几种常用流量计。

速度式流量计是以直接测量封闭管道中满管流流动速度为原理的流量计,种类有涡轮流量计、涡街流量计、电磁流量计、超声波流量计、激光多普勒流量计、分流旋翼流量计和插入式流量计等。

涡轮流量计结构简单,维修和安装方便,重复性好,精度可达到 0.5% 甚至更高,国内产品直径最小为 4 mm,最大达到 500 mm,要求被测流体不含杂质,测量结果受来流方向影响大,因此,要求上游有 20 ~ 50 倍、下游有 10 倍管径的直管段。

涡街流量计不受流体性质的影响,量程大,测量范围宽,但流量小时漩涡频率不稳定,测量精度可达

± 1%。为避免来流不均匀的影响,要求流量计上游有 15 倍、下游有 5 倍管径的直管段。管道流速不应高于 7 ~ 8 m/s,以避免空化噪声和振动等现象发生。

电磁流量计是基于法拉第电磁感应原理设计的,由电磁流量传感器与电磁流量转换器配套组成的。电磁流量转换器用于测量导电液体的体积流量,能将来自传感器的低电平毫伏信号转换成与流量成比例的标准信号输出,供远距离显示、记录、调节控制和流量计算等之用。电磁流量计不受介质温度、压力、密度、黏性和导电率等变化的影响^[1]。

在流量测量中若不是满管或现场测量条件不是很好时,也可采用 ADFM 声学多普勒流量计测流量。该流量计采用声学多普勒技术及独特的信号处理方式,使仪表能够测量流速场,将流速分布测量出来,再加上液位计算过流面积,从而精确测量流量。

由上述可知,每种流量计都有适用范围,也都有局限性。这就要求人们在选择仪表时一定要熟悉仪表和被测对象 2 方面的情况,并兼顾考虑其他因素,这样才能既测量准确又节约财力、物力。水利工程

模型试验流量测量的仪器设备常用的有量水堰、压差式流量计、电磁流量计和超声波流量计等。

超声波流量计具有非接触测量特点,不受被测流体温度、压力、黏度、密度等参数的影响,具备测量精度高、灵敏度高、可靠性高、重复性好、安装方便(外缚式安装)等优点,近几年来获得了广泛的应用^[2]。

2 超声波流量计的原理和特点

超声波是频率 20 kHz 以上、超过人耳听觉极限的机械波。超声波流量计是利用超声波在水中传播的时间随流速变化的原理测量流量的。超声波流量计由流量变送器和流量转换器 2 部分组成,把上游超声换能器 k_1 和下游超声换能器 k_2 与管道成 θ 夹角相对斜置安装在流量导管上就构成了超声波流量变送器,如图 1 所示。把流量变送器上的 2 只超声换能器和流量转换器连接起来,便可从转换器上得到与流量成线性关系的输出信号。

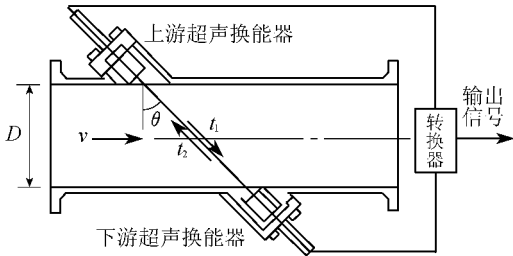


图 1 超声波流量计工作原理示意图

当从 k_1 到 k_2 顺流发射超声波时,其传播时间为

$$t_1 = \frac{\frac{D}{\cos\theta}}{c + \bar{v}\cos\theta} \tag{1}$$

式中: D 为管径; c 为超声波在静水中的传播速度; $\bar{v}$ 为流量导管中水的平均流速。

当从 k_2 到 k_1 逆流发射超声波时,其传播时间为

$$t_2 = \frac{\frac{D}{\cos\theta}}{c - \bar{v}\cos\theta} \tag{2}$$

则
$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2D\bar{v}}{c^2 - \bar{v}^2\cos^2\theta} \tag{3}$$

由于 $c \gg \bar{v}$ 且 $\bar{v} = \frac{4Q}{\pi D^2}$ 所以

$$\Delta t = \frac{2D\bar{v}}{c^2} = \frac{8Q}{\pi Dc^2} \tag{4}$$

$$Q = \frac{\pi Dc^2}{8}\Delta t = K_1\Delta t \tag{5}$$

可见,测出时间差 Δt 就可以换算出流量 Q ,此即时差法。超声波流量计不受被测流体温度、压力、黏度、密度等参数的影响,可管外安装、非接触测流,可适应多种管径测量和多种流量范围测量,管径的

适用范围从 2 ~ 500 cm 都可以。超声波流量计现已向产品系列化、通用化发展。

3 时差式超声波流量计及控制系统

美国 Controlotron 公司生产的 1010 系列时差式超声波流量计采用宽脉冲传感器技术^[2],配合可变频率传送线路,使传感器可以适合于不同的管材谐振频率,超声波信号在管壁内轴向运动后才将信号传送至另一传感器,增强的信号适用于不同温度、流速、含气泡和固体杂质的液体,具有测量范围宽、误差小、采样频率高、稳定性好等优点。测量精度一般在 0.25% ~ 1% 范围内,灵敏度为 0.003 m/s。具有数字及图形显示当时流量及总流量、可测知液体中的含气量(VAER 读数)并作出内部补偿、在流速 ± 14 m/s 内可维持标定精度和自诊功能等优点。

笔者所用的时差式超声波流量计安装在泥沙试验厅中,泥沙试验厅变坡水槽主要用于水流、泥沙基础理论方面的试验研究,例如明渠水流运动规律的试验研究,泥沙起动和扬动规律的试验研究,非均匀、非恒定推移质泥沙输沙规律的试验研究等。变坡水槽的 $\varnothing 300$ mm 管道和 $\varnothing 200$ mm 管道上各安装 1 套时差式超声波流量计。

变坡水槽水流循环运行是由泵房从地下供水库中抽水到平水塔,由平水塔经管道下泄稳定流至水槽(时差式超声波流量计),再由水槽出水口及回水道将水流送回地下供水库,其水流循环基本工作原理见图 2。

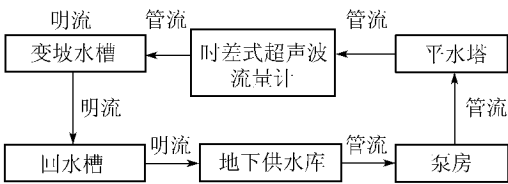


图 2 变坡水槽水流循环基本工作原理

时差式超声波流量测量控制系统由时差式超声波流量计、直行程双座调节阀、电子式电动执行器、操作器、流量控制接口和计算机等组成。计算机自动控制时,将率定关系式代入,当实测的流量与试验给定的流量有偏差时,经计算机系统计算、调节,分别送出控制信号驱动放大电路和电子式电动执行器,调节变化后的流量经时差式超声波流量计再次反馈到计算机,再经调节控制,形成一个闭环自动控制系统(如图 3 所示),直至达到误差范围之内,流量测量精度小于或等于 1%,流量控制精度小于或等于 2%,实现了流量测量的自动化控制以及流量测量控制的高精度和高稳定性。

测量控制流量设计了 2 条管路,实际应用时可

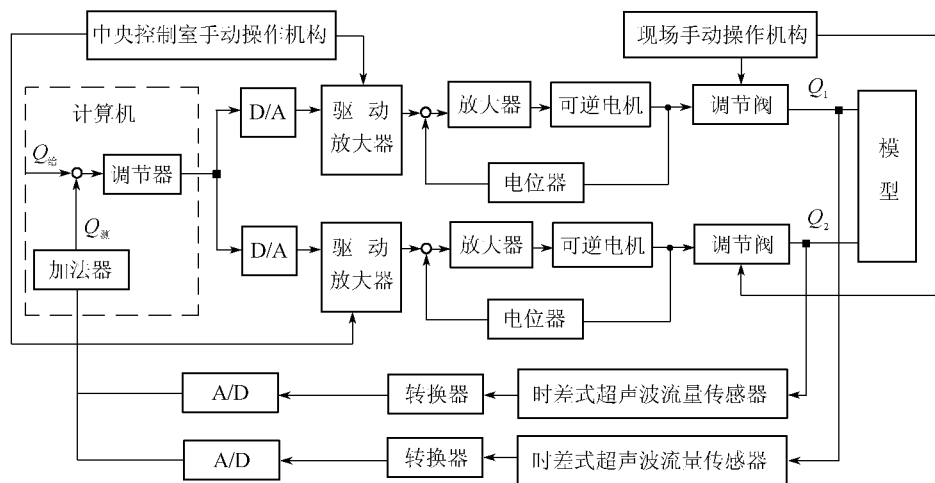


图3 流量控制系统框图

根据流量大小和精度实施单管路或双管路测量控制。中央控制室和流量测量控制现场分别设计安装了手动控制器和阀门位置显示器(即流量测量控制系统设计安装全自动、半自动和手动3种方式)。电子式电动执行器的最大开闭处均设有行程开关保护装置,以防操作不当或意外事故引起电机损坏。

4 系统软件

用于泥沙试验的变坡水槽控制系统除了有时差式超声波流量测量控制部分外,还有尾水位测量与控制、含沙量测量与控制、流速和水位数据多点同步采集与处理等部分组成,另外,在试验大厅还研制安装了监测监控系统,在中央控制室能随时监测监控整个模型的试验情况。

控制系统软件界面设计为按钮控制的主菜单模式,具有常系数建立修改、自检自诊断、流量控制、水位控制、水槽变坡控制、含沙量控制、水库水位测量报警和流速、水位、含沙量等数据多点同步采集与处理等功能。

控制系统软件有以下主要技术特点^[3-5]:①在Windows下运行,界面美观新颖,具有很强的可视性和交互性;②常系数建立修改方便,可对各类参数进行单独保存,输入、输出数据可采用Excel格式;③具有很强的自检自诊断功能,可以方便地检测控制接口、传感器、电动执行器和有关硬件的工作状态正常与否;④可方便地选用键盘或鼠标进行各控制曲线显示的随意切换,实时修改曲线;⑤控制过程线实时显示,以不同的颜色在同一画面中显示给定曲线和控制过程线;⑥多个模块的主菜单模式,可以方便地选择切换到不同的控制状态;⑦运用多媒体功能,界面配有动态的音视频效果;⑧实时数据通讯功能,具有很好的实时性、快速性、可靠性。

5 结语

时差式超声波流量计及控制系统已成功地应用于南京水利科学研究院的国家重点实验室和交通部、水利部重点实验室的水利水电工程重大基础研究和公益研究项目,实现了流量测量的自动化控制以及流量测量控制的高精度和高稳定性。先进的时差式超声波流量计及控制系统可以确保各类试验研究的测量控制精度和工作效率,确保试验成果质量和科研水平的提高,为提高泥沙试验研究的技术水平、促进学科理论发展、建设国内乃至国际一流的国家重点实验室提供了良好的工作条件。

参考文献:

- [1] 蔡守允,周益人,谢瑞,等.河流海岸模型测试技术[M].北京:海洋出版社,2004.
- [2] 蔡守允,刘兆衡,张晓红,等.水利工程模型试验量测技术[M].北京:海洋出版社,2008.
- [3] 蔡守允,戴杰,张定安.大型模型试验水沙循环调制设备及控制系统[J].海洋工程,2006,24(2):118-122.
- [4] 蔡守允,马启南,戴杰,等.新型光电式智能测沙颗粒分仪[J].传感器与微系统,2007(8):79-81.
- [5] 蔡守允,杨大明,戴杰.水利工程模型试验计算机测量与控制系统[J].计算机测量与控制,2007(10):1325-1327.

(收稿日期 2009-02-04 编辑 高建群)

