
超声波流量计的应用与前景

王贤妮，宋财华

(江西三川水表股份有限公司，江西 鹰潭 335000)

摘要： 本文从目前常用的几种水表原理出发，通过对这几种水表性能参数进行对比来阐述超声波水表的优越性，并简要介绍了超声波流量计的应用，最后着重分析了超声波水表给自来水公司带来的增值服务。

关键词： 超声波水表，优势，增值服务

1 前言

近几十年来随着 DSP、IC、嵌入式、通信技术以及新型电子器件、低功耗和高能量电源等技术的迅猛发展，并且伴随工艺技术的提高和高速数字控制芯片越来越成熟，超声波流量测量技术取得了长足的进步。目前国内也有很多研发生产超声波水表的厂家，研发的超声波水表与国外的相比差异很小，超声波水表的应用将会愈来愈广泛。

2 超声波水表的优势

2.1 现代流量测量的标准

在现在社会能源资源匮乏，而能源需求量愈来愈大的时代，流量计量在国民经济中所起到的作用越发的明显。因而现代社会对流量测量的要求也更高，主要体现在：

- 宽量程比：为了降低漏损率，提高经济效益，如希望水表具有滴水计量的能力，这就要求测量仪表具有很宽的量程比。
- 高参数流：对于高温低温等高参数流的流体也能进行流量测量，如北方供暖计量，就要求测量仪表具有测量热水流量的功能。
- 低维护量：为确保测量仪表的连续使用，一旦发生故障，还可以在线进行维护而不影响再次使用。

2.2 各种水表之间的比较

从流量计诞生到现在为止，根据力学、热学、声学、电学、光学、原子物

理学等不同原理研制出的不同用途的流量计种类繁多。人们平常见到的水表也就是一种流量计，用来测量封闭管道内水的流量的。下面介绍几种目前市面上常见的几种水表——机械式水表、电磁式水表、射流水表和超声波水表。

(1) 机械式水表是利用机械测量元件把流体连续不断地分割成单个已知的体积部分，根据计量室逐次、重复地充满和排放该体积部分流体的次数来测量流量的体积总量。

其主要优点是成本低且简单易于实现，价格便宜。

(2) 电磁式水表是利用导电性液体在垂直于磁场的非磁性测量管内流动时，就会产生感应电势，感应电动势的大小与被测介质的平均流速成正比，由此根据测得的感应电动势的大小计算出被测介质的平均流速，从而可计算出流量值。

其测量的主要优点是被测管道内无运动和阻流部件，压力损失小；由于感应电动势只与被测介质流动的平均速度有关，而与其流动状态无关，因而电磁式水表的测量精度高，无机械惯性，反应速度快，动态特性好。

(3) 射流水表是利用附壁效应研制成的。当封闭管道中的流体进入射流计量腔时，由于存在射流附壁效应和射流反馈控制作用，使流体在计量腔中发生振荡，该振荡频率在一定流量范围内与流体流经管道的流速或体积流量成正比，从而计算出流体的平均速度，进而计算出流量值。

射流水表测量灵敏度高，可以消除被测液体中气泡或微小泥沙对测量结果的影响；其主要用于低雷诺数流体的流量测量，测量范围宽，在低流量检测时具有优势。

(4) 超声波水表利用超声波在流动的液体中传播时，载有流体流量的信息的原理，通过检测穿过流体的超声波信号就可以得到所测流体的流速信息，最后再根据相应原理换算成流量。

超声波水表被测管道内无任何运动、阻流部件，无磨损，压力损失小；灵敏度高，可检测到流速的微小变化；对被测介质几乎无要求；具有极宽的量程比，且超声波水表结构简单、便于维护，非常适合民用和工业测量。

下表 1 中分别列出了以上四种水表的具体性能指标值。以 DN20mm 口径的水表为例。

表 1 各中水表的性能参数

性能名称	机械水表	电磁水表	射流水表	超声波水表
始动流量	<8L/h	<3 L/h	<8 L/h	(1.2~3) L/h
最小流量	(25~50) L/h	(8~12) L/h	(12~16) L/h	(8~12) L/h
流量测量范围 Q_3 / Q_1	80~160	200~250	160~250	200~500
瞬时流量功能	无	有	有	有
计量误差	±2.0%	(±1.0 ~ ±2.0)%	(±1.0 ~ ±2.0)%	(±1.0 ~ ±2.0)%
电池寿命	无电池	>6 年	>10 年	>10 年
压力损失	大	小	大	小
无线监控	较难	容易	容易	容易

综合上述分析可以看出，超声波水表和射流水表性能上优于电磁水表和机械水表，在市场上也得到了自来水公司和用户的青睐。但是由于射流水表的测量上限受到水表压力损失指标的制约，而测量下限受雷诺数的影响较大导致始动流量高，因而超声波水表在性能上更优于射流水表。

3 超声波流量计的应用

3.1 超声波水表

常用的超声波流量计按其测量原理分类大致可以分为时差法和多普勒法，其中前者占据了大多数的超声波水表的应用。基于时差法的超声波水表原理图如图 1 所示，通过测量超声波信号从上游到下游的顺流传播时间 $T_{顺}$ 和从下游到上游的逆流传播时间 $T_{逆}$ ，由于水流速度的影响， $T_{顺}$ 和 $T_{逆}$ 不相等，存在一个时间差 ΔT ，最终通过 ΔT 计算出流量。

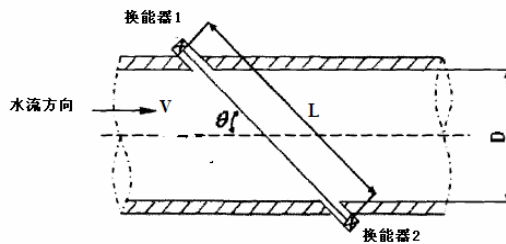


图 1 时差法超声波水表原理图

设 v 为水流速度, C 为超声波速度, θ 为超声波的入射角, D 为管道直径, L 为换能器 1 的后端面与换能器 2 前端面的距离, S 为管道的横截面积。超声波顺、逆流传播时间 $T_{顺}$ 、 $T_{逆}$ 可以表示为:

$$T_{顺} = \frac{L}{C + V \cos \theta} \quad (1)$$

$$T_{逆} = \frac{L}{C - V \cos \theta} \quad (2)$$

则超声波在顺流方向和逆流方向上传播的时间差 Δt 为:

$$\Delta T = T_{逆} - T_{顺} = \frac{2LV \cos \theta}{C^2 - V^2 \cos^2 \theta} \quad (3)$$

由于 $C^2 \gg V^2 \cos^2 \theta$, 所以有:

$$\Delta T = \frac{2LV \cos \theta}{C^2} \quad (4)$$

结合式(1)~式(4), 水流速度 v 为:

$$V = \frac{C^2}{2L \cos \theta} \cdot \Delta T \quad (5)$$

则流量 Q 为:

$$Q = S \cdot V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{C^2}{2L \cos \theta} \cdot \Delta T \quad (6)$$

3.2 单芯片解决方案的超声波水表

由(6)式知, 超声波水表测量精度关键在于时差的精确计量。以三川公司 DN20mm 口径的超声波水表为例计算出在不同瞬时流量下超声波理论的顺、逆流传播时间及时间差如表 2 所示。选取自来水为流体介质, 水温为 25℃, 此时对应的超声波声速 C 为 1496.6m/s。

表 2 超声波顺、逆流传播的理论时间

瞬时流量	流速 V (m/s)	顺流传播时间 $T_{顺}$ (ns)	逆流传播时间 $T_{逆}$ (ns)	顺逆流时间差 ΔT (ns)
Q=10L/h	0.018	56794.737	56796.069	1.332
Q=20L/h	0.035	56794.071	56796.735	2.664
Q=25L/h	0.044	56793.738	56797.068	3.3
Q=4000L/h	7.02	56530.256	57063.049	532.793

从表 2 可以看出用于计算流量的顺逆时间差 ΔT 均是 ns 级, 时间值很小, 因此能否对传播时间进行精确测量会直接影响超声波流量计的测量精度。时差

值随着流量的减小而减小，为了实现对小流量精确测量，就要求采用高精度的时间间隔测量芯片。当被测流量为 10L/h 时，需要测量的时差 $\Delta T=1.332ns$ ，以美国 ICCI 公司的 UTA6902 的 50ps 精度测量所获得的测量精度将可以优于 3.8%；以德国 ACCM 公司的 GP21 的 22ps 精度测量所获得的测量精度将可以优于 1.7%；以三川水表公司自行研制的 MCU 和 TDC 一体化的时间间隔测量模块的 10ps 精度测量所获得的测量精度将可以优于 0.8%。

4 超声波水表给自来水公司带来的增值服务

4.1 降低漏损率、提高经济效益

水表作为供水企业与用户之间进行贸易结算的计量依据，在供水企业中处于举足轻重的地位，其计量的准确度对供水企业的经济效益和社会效益将会产生直接的影响。

下表 3 是一台超声波水表和一台机械水表在同一台校验装置上累积流量的记录数据及分析，水表的口径均为 DN20mm。

表 3 累积流量统计数据

读数次数	机械水表		超声波水表		累积运行时间(h)	超声波水表相对机械水表提高百分比 (%)
	读数(m^3)	累积流量(m^3)	读数(m^3)	累积流量(m^3)		
1	3802		228.76		483	
2	3976	174	408.229	179.469	670	3.14
3	4184	208	620.98	212.751	796	2.28
4	4713	529	1166.321	545.341	1156	3.09
5	4980	267	1440.913	274.592	1324	2.84
6	5227	247	1698.56	257.647	1493	4.31
7	5499	272	1982.11	283.55	1660	4.25

通过上表数据可以看出，超声波水表一般比机械水表多计量 3%，这是由于机械水表的始动流量高以及低区域计量误差大而造成漏计引起的，并且随着水表内机械部件的逐渐磨损，两者相差将越来越大。通过表 3 数据对比分析知一

台超声波水表一个月可以减少损失约 $24m^3$ ，若售水平均单价每立方米 1.5 元，则一台水表一年将损失约 432 元。因此，采用超声波水表将会给自来水公司带来显著的经济效益。

4.2 现代化信息管理

目前，供水企业大部分采用机械水表计量、现场定期人工抄表和巡检的管理模式。然而这种模式存在着计量和管理上的弊端：机械水表的高始动流量、高压损以及不可避免的自然磨损等因素导致计量失准；人工定期抄表和巡检不能及时发现和解决水表故障问题等。所以现在很多城市水司都在积极构建自己的能够自动读表、实时监控管理、正确计量、计算售水量的水资源信息管理系统。超声波水表配合 GPRS/GSM 无线通信技术及相关软件让水资信息管理系统构建能更轻松的实现。

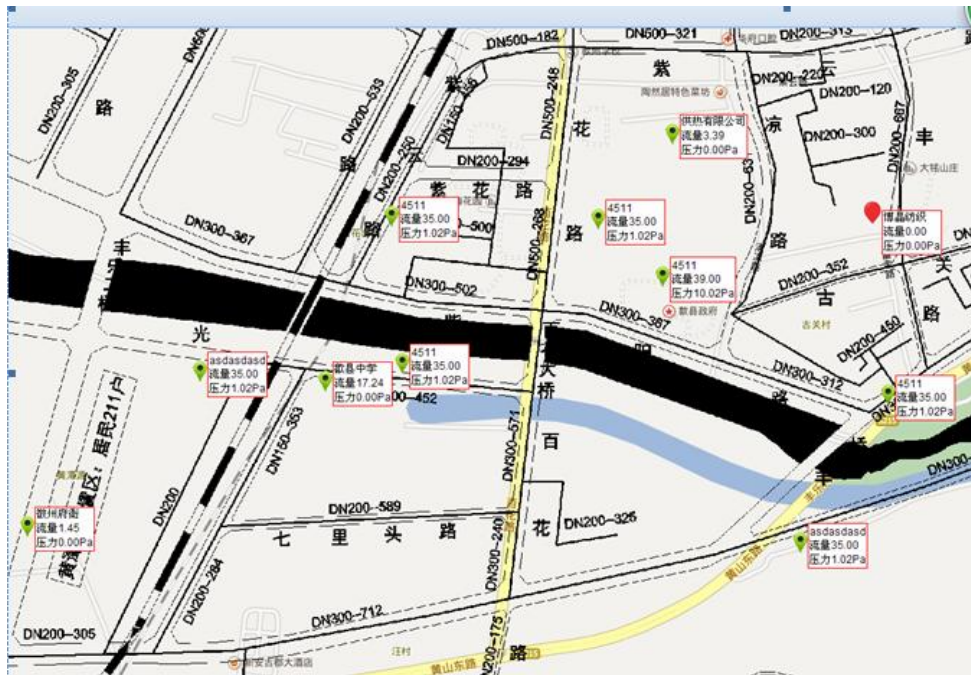


图 2 实时流量和压力监控图

例如现在自来水司工作人员只需坐在办公室的电脑前，通过供水管网地理信息系统(GIS)平台就可以查看区域内用户用水信息和管网的运行状态信息。实时流量和压力信息监控如图 2 所示。通过如图显示的实时信息就知道哪些地方水压不够，哪些地方容易发生爆管或正在爆管。通过超声波水表配合相应硬件软件将用户水表和大表的流量数据和压力数据传回信息中心并实时显示在地图

上。对于监控点上出现瞬时流量为 0L/h,压力为 0Pa 的就会自动报警,如图 2 上红色标注处,这样可以及时通知在附近的水司工作人员赶赴现场维修。由于其具有 GPS 定位功能,从而节约了大量的维修时间,减少了自来水公司与用户之间因不能及时发现并处理管网异常情况而产生的纠纷,还能节约大量的水资源。

居民在一天内的用水量不是一成不变的,有高峰期和低峰期。那怎么确定高峰期和低峰期的具体时段点呢?超声波水表又可发挥其作用了,超声波水表具有瞬时流量功能,1s 采集 4 次、8 次或 16 次瞬时流量或更多。通过采集大量的流量数据,然后进行统计分析,得到高、低峰时段点数据或其他重要数据,为自来水公司的合理调度、保证供需水压平衡等提供了数据支撑,为其功能的实现保驾护航。

无论是 GIS 系统、SCADA 系统还是供水科学调度系统,能让这些系统稳定可靠运行的前提都是大量数据的支撑,而这些重要的数据是靠智能水表来获得的,而超声波水表在智能水表中的优越性是有目共睹的。

5 总结

超声波水表具有其他水表无法比拟的优越性,始动流量小、精度高、宽量程比、便于维护等均符合现代测量的新标准。在信息技术飞速发展的现代社会,采用超声波水表,结合电子通讯技术,可以让自来水司的经济效益、社会效益和科学管理水平实现质的飞跃。

参考文献

- [1] 李富维. 结合超声波水表远程监控系统的应用初探[J].科学之友, 2011(04):25~29
- [2] 席细平, 马重芳, 王伟. 超声波技术应用现状[J].山西化工, 2007(01).
- [3] 李宁.选择合适水表计量减少水量计量损失[J].城市供水, 2007(5): 34~35
- [4] 陈少华, 吕晓颖, 曾洁, 李桂林. 一种用于时差法超声波热能表的高精度测时方法[J]. 化工自动化及仪表, 20011, 38(3)
- [5] 韦杰. 基于 GSM/GPRS 的水表远程数据采集与管理系统[D].沈阳理工大学, 2011