

# 超声波测量技术的魅力

王贤妮, 宋财华

(江西三川水表股份有限公司 技术中心研发部, 江西 鹰潭, 邮政编码 335000)

**摘要:** 本文从超声波的概念出发, 介绍了超声波技术在人们日常生活中的一些应用实例, 并对超声波技术在流量测量上的应用原理做了详细的阐述, 以及简要分析了小流量测量时对时间间隔测量精度的要求。最后, 概要介绍了超声波流量测量的优缺点。

**关键词:** 超声波, 流量测量, 特点

## 1. 引言

计量在整个人类社会中起着至关重要的作用, 没有准确的计量, 就不能体现公平合理。而流量计量是仪器仪表制造业重点关注的问题, 作为计量科学的组成部分之一, 它与人们的日常生活、工业生产、计量科学的研究有着密不可分的关系。实现流量的精确计量, 对保证产品质量、提高生产效率、促进科学技术的发展都具有重要的作用。尤其是在能源资源极大匮乏, 而能源需求量愈来愈大的当今时代, 流量计量在国民经济中所起到的作用越发的明显。随着 DSP(Digital Signal Processor)、IC(Integrated circuit)和嵌入式等技术的高度发展, 流体流量测量技术也朝着智能化、便捷式、多样性的方向发展, 伴随工艺技术的提高, 微处理器的功能越来越强大, 数字信号处理技术和高速数字控制芯片越来越成熟, 使得超声波技术在流量测量中得到了很好的应用。

## 2. 超声波及超声波技术的应用

### 2.1 超声波简介

声波是物体机械振动状态(或能量)的传播形式。所谓振动是指物质的质点在其平衡位置附近进行的往返运动形式。譬如, 鼓面经敲击后, 它就上下振动, 这种振动状态通过空气媒质向四面八方传播, 这便是声波。科学家们将每秒钟振动的次数称为声音的频率, 单位是赫兹(Hz)。人类耳朵能听到的声波频率为 20Hz~20000Hz。当声波的振动频率小于 20Hz 或大于 20KHz 时, 人耳便听不见了。因此, 把这种频率高于 20000 赫兹的声波称为超声波。它方向性好, 穿透能力强, 易于获得较集中的声能, 在水中传播距离远, 自 19 世纪末到 20 世纪初, 在物理学上发现了压电效应与反压电效应之后, 人们解决了利用电子学技术产生超声波的办法, 从此迅速揭开了发展与推广超声技术的历史篇章。一个多世纪以来, 超声波已在科学技术、社会生产与生活等各个领域中获得了十分广泛的应用。

随着科学技术的不断发展, 超声波技术已经在人们的日常生活中随处可见, 例如家庭用的超声波水表和北方用于供暖计量的超声波热量表。

### 2.2 超声波技术的应用

超声波技术是一门以物理、电子、机械及材料学为基础的通用技术之一, 它

是通过超声波产生、传播及接收的物理过程而完成的。

利用超声波的空化作用，可以用来对许多人工难以清洗的物件进行清洗。通过增大在液体中传播的超声波的压强，使其产生一个很大的力，将液体拉裂成空洞，并形成无数细小而密集的气泡，随着压力的增大，气泡破裂产生巨大的冲击波，将被清洗物体表面的污物撞击下来，达到物体清洗的目的，另外，由于超声波具有很强的穿透固体的作用，所以这种空化作用对浸入超声波作用下的液体中物体内表面也能得到一定程度的清洗。

超声波技术已在医疗检查方面获得普遍应用，例如各个医院里常见的 B 超技术。B 超是利用超声波探头向人体特定的位置发射一组超声波，按一定的方向进行扫描，再根据监测其回波的延迟时间和强弱就可以判断脏器的距离及性质，最后经过电子电路和计算机的处理，就形成了可视的 B 超图像，对肉眼看不到的人体内器官达到检查的目的。

超声波技术还可以用来测量距离，例如声纳技术和倒车雷达等。倒车雷达利用超声波在空气中的传播速度已知，测量超声波在发射后遇到障碍物反射回来的时间，根据发射和接收的时间差计算出发射点与障碍物之间的实际距离，达到倒车时提醒的效果。同理声纳技术是在水下利用，用来确定鱼群和水中障碍物的位置的。

### 3.超声波流量测量的原理

超声波信号在流体中传播时载有流体的流速信息，通过检测穿过流体的超声波信号就可以检测出流体的流速，从而转换成流量。本课题利用超声波流量测量方法中的时差法来测量流量，采用反射法将超声波换能器管段式安装在测量管道的同一侧。

超声波流量计流量测量的原理结构图如图 1.1 所示，换能器 1、2 被安装在管道上下游的同一侧，检测流量时，在控制电路作用下：换能器 1 发射超声波信号，经过反射镜 A 和反射镜 B 将超声波信号反射到换能器 2，同时高精度测时单元记录下超声波从上游换能器 1 到下游换能器 2 的传播时间  $T_{顺}$ ；换能器 2 接收到上游的超声波信号后也发射出超声波信号，信号经过反射镜 B 和反射镜 A 反射到换能器 1，同理高精度测时单元记录下游换能器 2 到上游换能器 1 的传播时间  $T_{逆}$ ，由于水流速度的影响， $T_{顺}$  和  $T_{逆}$  不相等，存在一个时间差  $\Delta T$ ，最终通过  $\Delta T$  计算出流量。

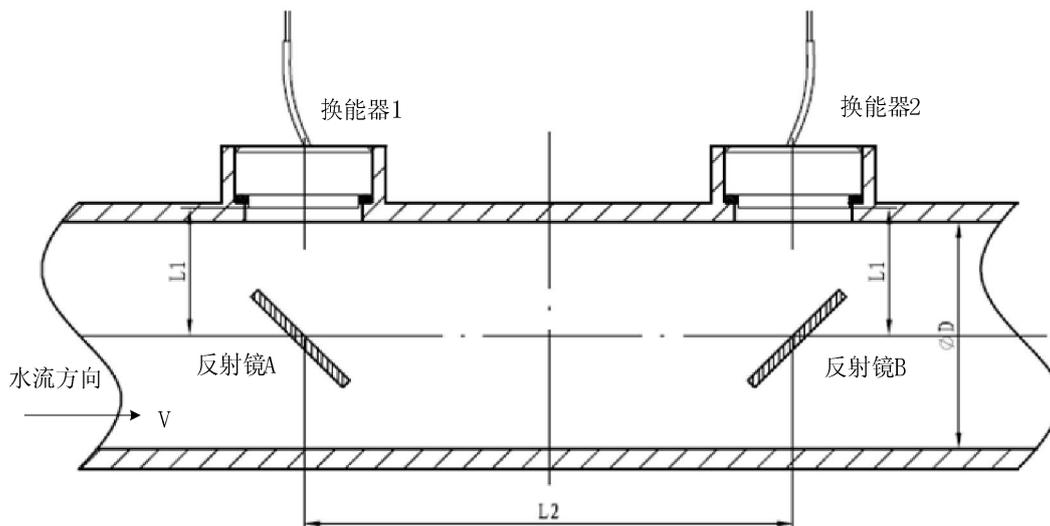


图 1.1 时差法超声波流量计原理图

例如要测量某河流的水平平均流速，测量原理图如图 1.2 所示。要测量的水的流速为  $v$ ，船的速度已知为  $V_{\text{船}}$ ，甲乙两地距离为  $S$ 。则船从甲地到乙地的时间  $t_{\text{顺}}$  可以表示为：

$$t_{\text{顺}} = \frac{S}{V_{\text{船}} + v} \quad (1)$$

船从乙地到甲地的时间  $t_{\text{逆}}$  可以表示为

$$t_{\text{逆}} = \frac{S}{V_{\text{船}} - v} \quad (2)$$

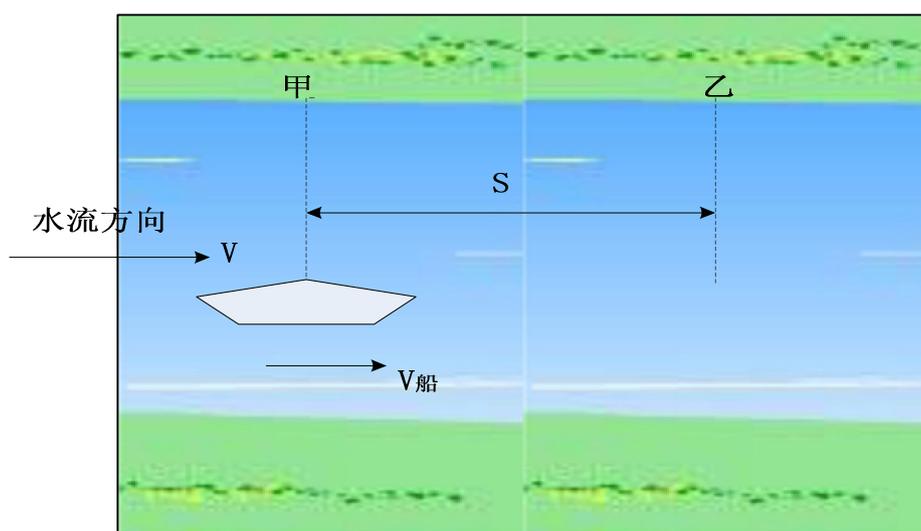


图 1.2 河中水的流量测量原理图

假设甲乙距离  $S=10$  千米，船的速度  $V_{\text{船}}=10$  千米/小时，又测得顺流时间

$t_{顺}=2/3$  小时， $t_{逆}=2$  小时。依据上面公式，可以算出河流流速  $V=5$  千米/小时。再乘以河床的横截面积就能算出河中水的流量。

超声波测量流量的原理与上述测量河中水的流量原理相似，只用将船的速度换成超声波的声速即可。但是利用超声波测量管道中液体的流量时由于管道上用于发射和接收超声波信号的上下游换能器之间距离小，导致超声波的顺逆流传播时间短，时差小，因而对时间测量模块的分辨率有一定的要求。

以三川公司 DN20mm 口径的超声波流量计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 1.1 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 1.1 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 $\Delta T$ (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 1.1 可以看出用于计算流量的顺逆时间差  $\Delta T$  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. 超声波流量测量的特点

超声波流量计之所以有着越来越广泛的应用，是因为与经典的流量计相比，超声波流量计具有以下优点：

(1) 超声波流量计的流量测量准确度几乎不受被测流体压力、粘度、密度等参数的影响。在保证超声波能够在介质中传播的前提下，超声波流量计不仅可以测量液体、气体的流量，它还可以测量双相介质的流体流量。因此，超声波流量计可以制成非接触式及便携式测量仪表，可以解决其它类型仪表难以测量的强腐蚀性、非导电性、放射性及易燃易爆介质的流量测量问题。

(2) 解决了工业流量测量普遍存在着的大管径、大流量测量困难的问题。一般流量计随着测量管径的增大会带来制造和运输上的困难，造价提高、能损加大、

安装不便, 这些问题超声波流量计均可避免。近几年超声波大口径水表市场运用越来越广泛。

(3) 无可动部件, 无磨损, 使用寿命长, 重量轻。

(4) 电子电路部分采用微处理器, 可进行各种补偿和运算; 灵敏度高, 可检测到流速的微小变化, 如 DN20 口径的水表则可检测 1.0 升/小时的始动流量, 可以大大提高流量计的测量精度。多通道测量结构的水表最高精度可达 0.5%。

(5) 超声波流量计具有较宽的量程比。普通流量计的量程比一般为 1:4 至 1:50 之间, 而超声波流量计的量程比可达 1:1000, 因此它适用于各种不同流速的场合。用于水表上则可轻松实现 R250 以上的计量量程, 远比机械式水表的 D 级表高许多。

(6) 超声波流量计结构简单、便于维护, 非常适合民用和工业测量。超声波流量计的感测元件结构简单, 没有转动部件, 主要工作集中在二次仪表的电路设计和算法实现上, 从而降低了对机械设计和加工的要求。

超声波流量计本身也存在着一些缺点。一是对超声波换能器的工艺要求高, 要求超声波换能器具有较高的灵敏度、较好的稳定性; 二是由于超声波换能器的安装直接影响流量测量的准确性, 因此对换能器的安装要求高; 三是超声波流量计的抗干扰能力弱, 对安装地点环境要求高。

## 5. 结束语

超声波测量具有精度高、量程宽、长寿命、与被测量物体不需要直接接触的优点, 是液体流量测量的理想手段, 已在家用水表和热量表中得到了大量的研究, 并已批量生产销售。在热量表中已累计使用超过近 2000 万台。随着超声波水表使用日益广泛, 相信超声波水表将取代机械式水表成为市场主流。

## 参考文献

- [1] 王育慷. 超声波原理与现代应用探讨[J]. 贵州大学学报(自然科学报), 2005 (03)
- [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] 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).
- [4] 杨仁建. 智能超低功耗超声热量表的研究与开发[D]. 山东大学, 2006.