

超声波流量计的基本原理及类型

超声波在流动的流体中传播时就载上流体流速的信息。因此通过接收到的超声波就可以检测出流体的流速，从而换算成流量。根据检测的方式，可分为传播速度差法、多普勒法、波束偏移法、噪声法及相关法等不同类型的超声波流量计。超声波流量计是近十几年来随着集成电路技术迅速发展才开始应用的一种。

非接触式仪表，适于测量不易接触和观察的流体以及大管径流量。它与水位计联动可进行敞开水流的流量测量。使用超声波流量比不用在流体中安装测量元件故不会改变流体的流动状态，不产生附加阻力，仪表的安装及检修均可不影响生产管线运行因而是一种理想的节能型流量计。

众所周知，目前的工业流量测量普遍存在着大管径、大流量测量困难的问题，这是因为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、安装不仅这些缺点，超声波流量计均可避免。因为各类超声波流量计均可管外安装、非接触测流，仪表造价基本上与被测管道口径大小无关，而其它类型的流量计随着口径增加，造价大幅度增加，故口径越大超声波流量计比相同功能其它类型流量计的功能价格比越优越。被认为是较好的大管径流量测量仪表，多普勒法超声波流量计可测双相介质的流量，故可用于下水道及排污水等脏污流的测量。在发电厂中，用便携式超声波流量计测量水轮机进水量、汽轮机循环水量等大管径流量，比过去的皮脱管流速计方便得多。超声波流量计也可用于气体测量。管径的适用范围从 2cm 到 5m，从几米宽的明渠、暗渠到 500m 宽的河流都可适用。

另外，超声测量仪表的流量测量准确度几乎不受被测流体温度、压力、粘度、密度等参数的影响，又可制成非接触及便携式测量仪表，故可解决其它类型仪表所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。另外，鉴于非接触测量特点，再配以合理的电子线路，一台仪表可适应多种管径测量和多种流量范围测量。超声波流量计的适应能力也是其它仪表不可比拟的。超声波流量计具有上述一些优点因此它越来越受到重视并且向产品系列化、通用化发展，现已制成不同声道的标准型、高温型、防爆型、湿式型仪表以适应不同介质，不同场合和不同管道条件的流量测量。

超声波流量计目前所存在的缺点主要是可测流体的温度范围受超声波换能器及换能器与管道之间的耦合材料耐温程度的限制,以及高温下被测流体传声速度的原始数据不全。目前我国只能用于测量 200℃ 以下的流体。另外,超声波流量计的测量线路比一般流量计复杂。这是因为,一般工业计量中液体的流速常常是每秒几米,而声波在液体中的传播速度约为 1500m / s 左右,被测流体流速(流量)变化带给声速的变化量最大也是 10^{-3} 数量级。若要求测量流速的准确度为 1%,则对声速的测量准确度需为 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 数量级,因此必须有完善的测量线路才能实现,这也正是超声波流量计只有在集成电路技术迅速发展的前题下才能得到实际应用的原因。

超声波流量计由超声波换能器、电子线路及流量显示和累积系统三部分组成。超声波发射换能器将电能转换为超声波能量,并将其发射到被测流体中,接收器接收到的超声波信号,经电子线路放大并转换为代表流量的电信号供给显示和积算仪表进行显示和积算。这样就实现了流量的检测和显示。

超声波流量计常用压电换能器。它利用压电材料的压电效应,采用适当的发射电路把电能加到发射换能器的压电元件上,使其产生超声波振动。超声波以某一角度射入流体中传播,然后由接收换能器接收,并经压电元件变为电能,以便检测。发射换能器利用压电元件的逆压电效应,而接收换能器则是利用压电效应。

超声波流量计换能器的压电元件常做成圆形薄片,沿厚度振动。薄片直径超过厚度的 10 倍,以保证振动的方向性。压电元件材料多采用锆钛酸铅。为固定压电元件,使超声波以合适的角度射入到流体中,需把元件嵌入声楔中,构成换能器整体(又称探头)。声楔的材料不仅要求强度高、耐老化,而且要求超声波经声楔后能量损失小即透射系数接近 1。常用的声楔材料是有机玻璃,因为它透明,可以观察到声楔中压电元件的组装情况。另外,某些橡胶、塑料及胶木也可作声楔材料。

超声波流量计的电子线路包括发射、接收、信号处理和显示电路。测得的瞬时流量和累积流量值用数字量或模拟量显示。

根据对信号检测的原理,目前超声波流量计大致可分传播速度差法(包括:直接时差法、时差法、相位差法、频差法)波束偏移法、多普勒法、相关法、空间滤波法及噪声法等类型,如图所示。其中以噪声法原理及结构最简单,便于测

量和携带,价格便宜但准确度较低,适于在流量测量准确度要求不高的场合使用。由于直接时差法、时差法、频差法和相位差法的基本原理都是通过测量超声波脉冲顺流和逆流传播时速度之差来反映流体的流速的,故又统称为传播速度差法,其中频差法和时差法克服了声速随流体温度变化带来的误差,准确度较高,所以被广泛采用。按照换能器的配置方法不同,传播速度差法又分为:Z法(透过法)、V法(反射法)、X法(交叉法)等。波束偏移法是利用超声波束在流体中的传播方向随流体流速变化而产生偏移来反映流体流速的,低流速时,灵敏度很低适用性不大。多普勒法是利用声学多普勒原理,通过测量不均匀流体中散射体散射的超声波多普勒频移来确定流体流量的,适用于含悬浮颗粒、气泡等流体流量测量。相关法是利用相关技术测量流量,原理上,此法的测量准确度与流体中的声速无关,因而与流体温度,浓度等无关,因而测量准确度高,适用范围广。但相关器价格贵,线路比较复杂。在微处理机普及的今天,这个缺点可以克服。噪声法(听音法)是利用管道内流体流动时产生的噪声与流体的流速有关的原理,通过检测噪声表示流速或流量值。其方法简单,设备价格便宜,但准确度低。

以上几种方法各有特点,应根据被测流体性质、流速分布情况、管路安装地点以及对测量准确度的要求等因素进行选择。一般说来由于工业生产中工质的温度常不能保持恒定,故多采用频差法及时差法。只有在管径很大时才采用直接时差法。对换能器安装方法的选择原则一般是:当流体沿管轴平行流动时,选用Z法;当流动方向与管轴不平行或管路安装地点使换能器安装间隔受到限制时,采用V法或X法。当流场分布不均匀而表前直管段又较短时,也可采用多声道(例如双声道或四声道)来克服流速扰动带来的流量测量误差。多普勒法适于测量两相流,可避免常规仪表由悬浮粒或气泡造成的堵塞、磨损、附着而不能运行的弊病,因而得以迅速发展。随着工业的发展及节能工作的开展,煤油混合(COM)、煤水混合(CWM)燃料的输送和应用以及燃料油加水助燃等节能方法的发展,都为多普勒超声波流量计应用开辟广阔前景。