

教学目标

通过本章的学习,读者应理解瞬时流量和累积流量的概念以及各种流量检测方法。重点要掌握椭圆齿轮流量计、节流式流量计、转子流量计、涡轮流量计的检测原理与应用特点以及实际工程中的流量计算问题。

5.1 概述



视频讲解

流量是判断生产过程的工作状态、衡量设备的运行效率以及评估经济效益的重要指标。在大多数工业生产中,常用检测和控制流量来确定物料的配比与耗量,实现生产过程的自动化与最优化。同时,对其他过程参数(如温度、压力、液位等)的控制,常常是通过对流量的检测与控制实现的。另外,日常生活中的水、气、油等的耗量也是用流量来计量的。因此,流量是控制生产过程达到优质高产和安全生产以及进行经济核算所必需的一个重要参数。

5.1.1 流量的概念

1. 流量定义

工程上,流量是指单位时间内通过管道某一截面的流体数量,又称瞬时流量;而在某一时段内通过管道某一截面的流体数量,称为累积流量,或称累积总量。

2. 流量表达式

流体数量可以用体积流量和质量流量来表示。体积流量是以体积表示,也即单位时间内流过某截面流体的体积数;质量流量是以质量表示,也即单位时间内流过某截面流体的质量数。两种流量的表达式为

$$q_v = dV/dt = vA \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (5-1)$$

$$q_m = dM/dt = \rho vA \text{ (kg/s)} \quad (5-2)$$

式中: q_v 为体积流量, m^3/s ; q_m 为质量流量, kg/s ; V 为流体体积, m^3 ; M 为流体质量, kg ; t 为时间, s ; ρ 为流体密度, kg/m^3 ; v 为流体平均流速, m/s ; A 为流通截面面积, m^2 。

体积流量与质量流量的关系为

$$q_m = \rho q_v \quad (5-3)$$

则流量和总量之间的关系是

$$Q_v = \int_t q_v dt \tag{5-4}$$

$$Q_m = \int_t q_m dt \tag{5-5}$$

式中： Q_v 为体积总量； Q_m 为质量总量； t 为测量时间。总量的单位就是体积或质量的单位。

3. 工作条件对流体密度的影响

流体的性质各不相同。例如，液体和气体在可压缩性上差别就很大，其密度受温度、压力的影响也相差悬殊。对于液体，压力变化对密度的影响非常小可以不计，温度对密度的影响会有一些；而对于气体，温度和压力变化对密度的影响则很大。因此在检测气体流量时，必须同时检测流体的温度和压力。为了便于比较，一般要将在工作状态下测得的体积流量换算成标准状态下(温度为 20℃，压力为 101325Pa 即 1 个标准大气压)的体积流量，用符号 q_{vn} 表示，单位符号为 Nm^3/s 。其算式为

$$q_{vn} = q_m / \rho_n \tag{5-6}$$

$$q_{vn} = q_v \rho / \rho_n \tag{5-7}$$

式中： ρ 为气体在工作状态下的密度； ρ_n 为气体在标准状态下的密度。

5.1.2 流量的检测方法

生产过程中各种流体的性质不同，如黏度、腐蚀性、导电性，流体的工作条件状态也不同，如高温、高压，有时是气液两相或液固两相的混合流体，所以很难用一种原理或方法检测不同流体的流量，也即流量检测的方式很多，其分类是一个错综复杂的问题。

1. 流量仪表的分类

流量检测方式可以归为体积流量检测和质量流量检测两种方式。前者测得流体的体积流量值，后者可以直接测得流体的质量流量值。测量流量的仪表统称为流量计，又可以细分为两种称谓：用于测量瞬时流量的仪表称为流量计，而用于测量累积流量的仪表称为计量表或总量计。流量计通常由一次装置和二次仪表组成。一次装置安装于流道的内部或外部，根据流体与之相互作用关系的物理定律产生一个与流量有确定关系的信号，这种一次装置亦称流量传感器。二次仪表则显示相应的流量值大小。

流量仪表的种类繁多，各适合于不同的工作场合。按检测原理分类的典型流量仪表如表 5-1 所示。

表 5-1 流量仪表的分类

类 别		仪 表 名 称
体积流量计	容积式流量计	椭圆齿轮流量计、腰轮流量计、皮膜式流量计等
	差压式流量计	节流式流量计、浮子(转子)流量计、均速管流量计、弯管流量计、靶式流量计等
	速度式流量计	涡轮流量计、涡街流量计、电磁流量计、超声波流量计等
质量流量计	推导式质量流量计	体积流量经密度补偿或温度、压力补偿间接求得质量流量等
	直接式质量流量计	科里奥利质量流量、热式质量流量、冲量式质量流量等

2. 流量仪表的主要技术参数

虽然流量计的类型很多，但它们具有一些共同的测量特性与技术指标。

(1) 流量范围 流量计可测的最大流量与最小流量的范围。在这个范围内，仪表在正

常使用条件下示值误差不应超过最大允许误差。

(2) 量程与量程比(范围度) 流量范围内最大流量与最小流量值之差称为量程,最大流量与最小流量的比值称为量程比(范围度),一般表达为几比1,量程比的大小受仪表的原理结构限制。

(3) 测量精确度与误差 仪表的精度等级是根据允许误差的大小来划分的。流量计在出厂时均要进行标定,所标出的精确度为基本误差,在现场使用中会由于偏离标定条件而带来附加误差,所以流量计的实际测量精确度为基本误差与附加误差的合成。

(4) 压力损失 安装在流体管道中的流量计实际上是一个阻力件,流体通过时将产生压力损失而带来一定的能源消耗,从而造成测量成本的增加。因此,压力损失的大小是流量仪表选型的一个重要技术指标。

5.2 容积式流量计



视频讲解

容积式流量计,又称定排量流量计。它是利用机械测量部件使被测流体连续充满具有一定容积的空间,然后再不断将其从出口排放出去,根据排放次数及容积来测量流体体积的总量。容积式流量计具有很高的测量精度,且管道安装条件要求较低,受流体流动状态影响小,测量范围度很宽,因而适合测量各种液体和气体尤其是高黏度、低雷诺数的流体(雷诺数是流体流动中惯性力与黏性力比值的量度,依据雷诺数的大小可以判别流动特征)。

容积式流量计按其测量部件分类,可分为椭圆齿轮流量计、刮板流量计、双转子流量计、旋转活塞流量计、往复活塞流量计、圆盘流量计、液封转筒式流量计、湿式气量计及膜式气量计等。下面介绍应用最为广泛的椭圆齿轮流量计。

5.2.1 椭圆齿轮流量计

椭圆齿轮流量计由一对相互啮合的椭圆形齿轮和仪表壳体构成,其工作原理如图 5-1 所示。被测流体由左向右流动,在图 5-1(a)所示位置时,椭圆齿轮 A 在进出口差压 $\Delta p = P_1 - P_2$ 作用下,产生一个绕轴的顺时针转矩,使齿轮 A 顺时针方向旋转,并把齿轮 A 与外壳之间的半月形固定容积内(图中阴影部分)的流体排出,同时带动齿轮 B 逆时针方向旋转。在图 5-1(b)位置时,齿轮 A、B 均受到转矩,并继续沿原来方向转动。当两轮旋转 90° ,处于图 5-1(c)位置时,齿轮 B 在差压 Δp 作用下产生一个绕轴的逆时针转矩,使齿轮 B 逆时针方向

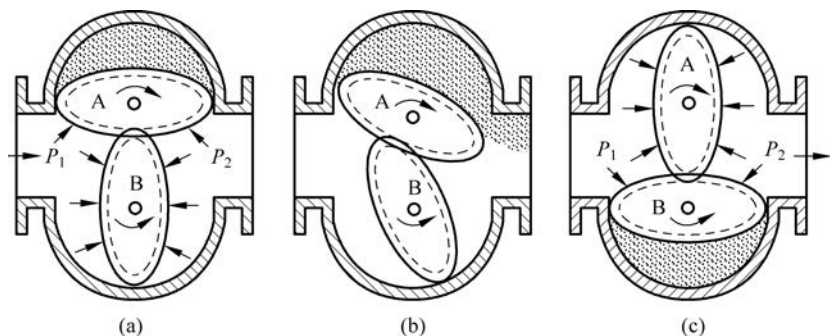


图 5-1 椭圆齿轮流量计工作原理



图 5-2 椭圆齿轮流量计外形图

旋转,并带动齿轮 A 顺时针方向旋转,同时又要使齿轮 B 与外壳之间的半月形容积的流体排向出口。如此两个齿轮交替地相互驱动,周期地主从更换,完成齿轮的连续旋转。当椭圆齿轮每旋转一圈(即 360°)时,将排出 4 个半月形容积的流体。因此,通过椭圆齿轮流量计的流体总量可表示为:

$$Q = 4nV_0 \quad (5-8)$$

式中: n 为椭圆齿轮的转数; V_0 为半月形容积。

椭圆齿轮流量计常用于石油及燃料油的流量计量,精度等级为 0.2~1 级,适用管径为 10~250mm,其外形如图 5-2 所示。

5.2.2 腰轮流量计

腰轮流量计(又称罗茨流量计)的检测原理与椭圆齿轮流量计基本相同,只是转子为腰轮,且腰轮上没有齿,因此腰轮之间不是直接相互啮合运动,而是由套在壳体外的与腰轮同轴上的啮合齿轮驱动,如图 5-3 所示。另外,腰轮的组成有两种:一种是如图 5-3(a)所示的一对腰轮形式;另一种是相互呈 45° 角的两对腰轮组合形式,如图 5-3(b)所示,组合式腰轮构成的腰轮流量计更适合大流量测量的场合。腰轮流量计产品外形如图 5-4 所示。

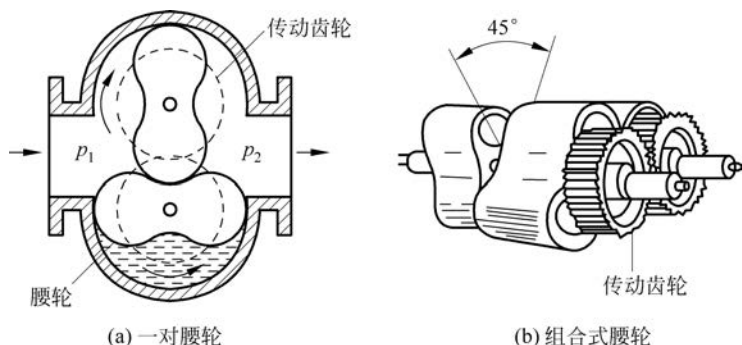


图 5-3 腰轮流量计工作原理



图 5-4 腰轮流量计外形图

腰轮流量计主要用于测量液体流量,也可测量气体流量。液体型的准确度等级一般为 0.2~0.5 级,气体型一般为 1.0 级、1.5 级;液体型的适用管径一般为 15~500mm,气体型一般为 25~300mm。

5.2.3 旋转活塞流量计

旋转活塞流量计工作原理如图 5-5 所示,被测液体从进口处进入计量室,被测流体进、出口的压力差推动旋转活塞按图中箭头方向旋转。当转至如图 5-5(b)所示位置时,活塞内腔新月形容积 V_1 中充满了被测液体。当转至如图 5-5(c)所示位置时,这一容积中的液体已与出口相通,活塞继续转动便将这一容积的液体由出口排出。当转至如图 5-5(d)所示位置时,在活塞外面与测量室内壁之间形成了一个充满被测液体的容积 V_2 。活塞继续旋转又转至图 5-5(a)位置,这时容积 V_2 中的液体又与出口相通,活塞继续旋转又将这一容积的液体由出口排出。如此周而复始,活塞每转一周,便有 $V_1 + V_2$ 容积的被测液体从流量计排出。活塞转数既可由机械计数机构计出,也可转换为电脉冲由电路计出,流量计产品外形如图 5-6 所示。

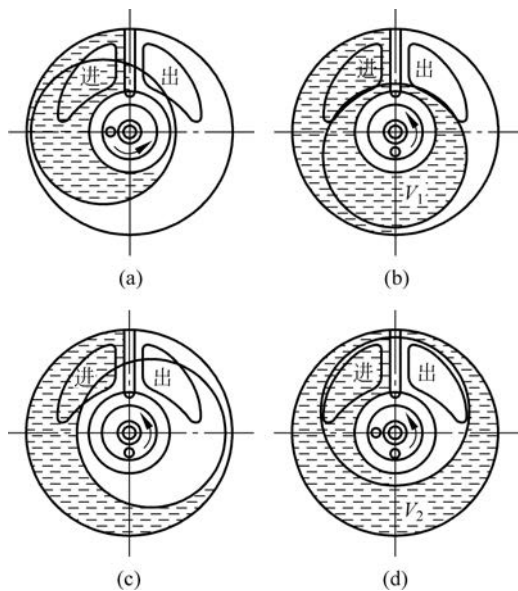


图 5-5 旋转活塞流量计工作原理



图 5-6 旋转活塞流量计外形图

旋转活塞流量计适合测量小流量液体的流量。它具有结构简单、工作可靠、精度高(可达 0.5 级)、受黏度影响小等优点。由于零部件不耐腐蚀,故只能测量无腐蚀性的液体,如重油或其他油类。现多用于小口径的管路上测量各种油类的流量。

5.2.4 刮板流量计

刮板流量计工作原理如图 5-7 所示,测量部分主要由可旋转的转子、刮板和流量计壳体组成,刮板数有两对(4 个)和三对(6 个)之分。在流量计进出口压差作用下,流体推动刮板和转子旋转。旋转过程中,刮板沿着一种特殊的轨迹成放射状地伸出或缩回。当相邻的两个刮板均伸出到壳体内壁时,这两个刮板、转子及壳体内壁之间便形成一个计量室。转子每旋转一周,排出 4 个(两对刮板时)或 6 个(三对刮板时)计量室容积的流体。刮板式流量计测量液体流量时,根据结构形式可分凸轮式和凹线式,仪表外形如图 5-8 所示。

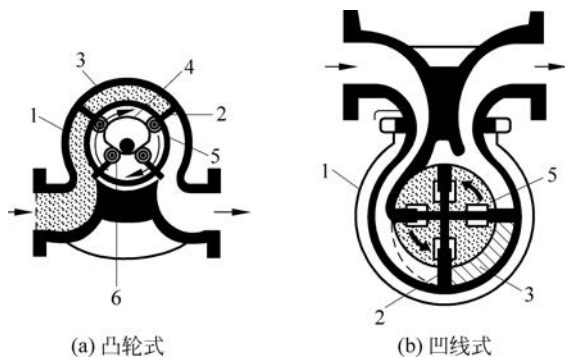


图 5-7 刮板流量计工作原理

1—壳体; 2—刮板; 3—计量室; 4—凸轮; 5—转子; 6—滚轮



图 5-8 刮板流量计外形图

由于刮板的特殊运行轨迹,流体通过流量计后流动不受干扰,不会产生涡流和振动,噪声小。刮板式流量计口径一般为 50~300mm,准确度等级一般为 0.2~0.5 级,可用于清洁或带有微细粉状杂质的液体流量计量。

5.2.5 容积式流量计的应用

容积式流量计适宜测量较高黏度的液体流量,在正常的工作范围内,温度和压力对测量结果的影响很小,但是在使用时要注意,被测介质必须干净,不能含有固体颗粒等杂质,否则会使仪表磨损或卡住,甚至损坏仪表,为此要求在流量计前安装过滤器。

容积式流量计在安装时,对仪表前、后直管段长度没有严格的要求。常用的测量口径在 10~150mm 左右,当测量口径较大时,仪表的成本会大幅提高,仪表的重量和体积也会大大增加,造成维护的不方便。

容积式流量计具有较高的测量准确度,一般可达 $\pm 0.2\%$ ~ $\pm 0.5\%$,有的甚至能达到 $\pm 0.1\%$,量程比通常为 10:1,常用作标准计量器具。

由于仪表的准确度主要取决于壳体与活动壁之间的间隙,因此对仪表制造、装配的精度要求高,传动机构也比较复杂。

容积式流量计的显示方式有就地显示和远传显示两种,如图 5-9 所示。就地显示是将转子的转数 n 通过轴输出,并经一系列齿轮减速及转速比调整机构之后,直接带动仪表的指针和机械计数器,以实现流量和总量的显示。

远传显示是通过减速与转速比调整机构后,用电磁原理或光电原理等将转子的转速转换成一个个电脉冲远传,进一步通过电子计数器可进行流量的计算,或通过频率-电压(电流)转换器转换成与瞬时流量对应的标准电信号。

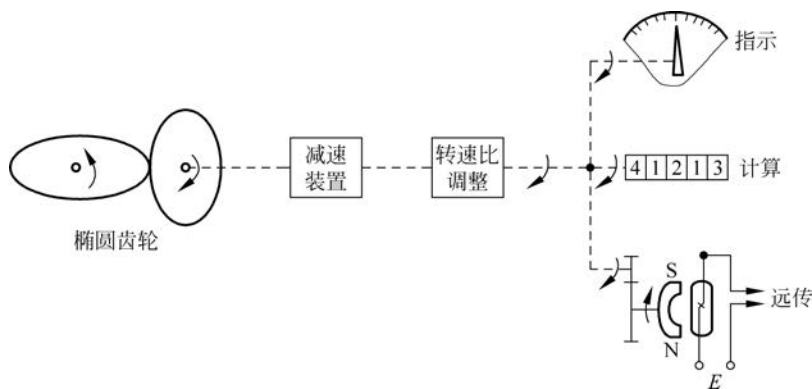


图 5-9 容积式流量计显示方式



视频讲解

5.3 差压式流量计

差压式流量计是根据流体流经节流元件时,其动能和静压能相互转换导致在节流元件上下游产生压力差来实现流量检测的仪表。产生差压的装置有多种形式,包括节流装置、动压管、均速管、弯管等。其他形式的差压式流量计还有靶式流量计、浮子流量计等。

5.3.1 节流式流量计

节流式流量计可用于测量液体、气体或蒸气的流量。这种流量计是应用历史最长、最成熟和最广泛的差压式流量计,在工程中几乎可作为差压式流量计的代名词。

1. 节流式流量计的组成

节流式流量计由节流装置、引压管路和差压变送器(或差压计)组成,如图 5-10 所示。

1) 节流装置

节流装置是将流体的流量值转换为差压信号,整套节流装置由节流元件、取压装置和上下游测量管组成。其中节流元件是设置在管道中能使流体产生局部收缩的部件,常用的节流元件有孔板、喷嘴、文丘里管等;取压装置是节流元件上下游静压的取出装置;测量管是节流元件上下游所规定直管段长度的一部分。

2) 引压管路

引压管路用于传输差压信号,将节流装置和差压变送器连接起来。取压阀和平衡阀称为三阀组件,用来开停车时平衡差压变送器两端测量室气压而不至于单侧压力过大损坏测量膜片。

3) 差压变送器(或差压计)

差压变送器(或差压计)用于测量差压信号,并将其转换为标准电流信号输出,供显示、记录或控制用。

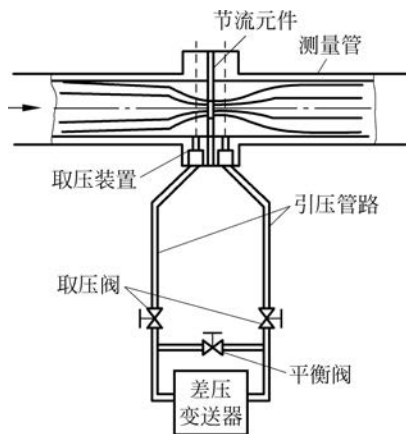


图 5-10 节流式流量计的组成

2. 节流装置的测量原理

节流装置测量流量是以流体连续性方程(质量守恒定律)和伯努利方程(能量守恒定律)为基础的。下面以标准节流装置中应用最多的节流元件——孔板为例,说明其工作原理。

孔板是垂直安装在水平管道中的一个圆盘,其中心处开有一规定大小的流孔。当稳定流动的流体沿水平方向流经节流孔板处时,由于孔板的障碍作用,使流体一部分动能转化为静压能,图 5-11 给出了流体流经孔板时的流速和压力分布。流体在孔板上游的截面 1 前,以一定的流速 v_1 充满管道平行连续的流动,其静压力为 p_1 ; 当流体流过截面 1 后,由于受到孔板的阻挡,流体开始收缩运动并通过孔板,在惯性作用下,位于截面 2 处的流体达到最小收缩截面,此处流速最大为 v_2 ,静压最低为 p_2 。随后流体摆脱节流孔板的影响又逐渐地扩大,达到截面 3 后,完全恢复到原来的流通面积,此时的流速 $v_3 = v_1$,但由于摩擦和撞击等原因损失了部分静压 δp 而为静压力 p_3 。

根据能量守恒定律,对于不可压缩的理想流体,在管道任一截面处的流动的动能和静压能之和是恒定的。并且在一定条件下互相转化。由此可知,当表征流体动能的速度在节流装置的前后发生变化时,表征流体静压能的静压力也将随之发生变化。因而,当流体在截面 2 处流体截面达到最小,而流速 v_2 达到最大时,此处的静压力 p_2 最小。这样在节流装置前后就会产生静压差 $\Delta p = p_1 - p_2$ 。而且,管道中流体流量越大,截面 2 处的流速 v_2 也就越大,节流装置前后产生的静压差也就越大。只要我们测出孔板前后的压差 Δp ,就可知道流量的大小。这就是节流装置测量流量的基本原理。

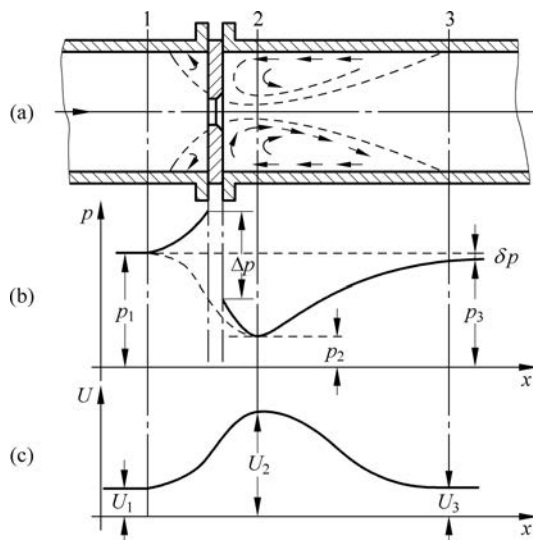


图 5-11 节流孔板前后流速和压力分布情况

3. 节流装置的流量方程

假设流体为不可压缩的理想流体,在节流件上游入口处流体流速为 v_1 ,静压为 p_1 ,密度为 ρ_1 ;在流体最小收缩截面处的流体流速为 v_2 ,静压为 p_2 ,密度为 ρ_2 ,根据伯努利方程,截面 1、2 处沿管中心的流体存在以下能量关系:

$$\frac{p_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} \quad (5-9)$$

而流体的连续性方程式为

$$A_1 v_1 \rho_1 = A_2 v_2 \rho_2 \quad (5-10)$$

式中: A_1 为管道截面积; A_2 为流体最小收缩截面积。

由于节流件很短,可以假定流体的密度在流经节流装置时没有变化,即 $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3$;用节流装置开孔面积 A_0 代替最小收缩截面面积 A_2 。

经推导,最后获得节流装置前后静压差与流量的定量关系式为

$$q_v = \alpha \epsilon A_0 \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}} \quad (5-11)$$

$$q_m = \alpha \epsilon A_0 \sqrt{2 \rho \Delta p} \quad (5-12)$$

式中: A_0 为开孔面积; α 为流量系数,它与节流装置的结构形式、取压方式、开孔直径、流体流动状态(雷诺数)、节流装置的开孔截面积与管道截面积之比,以及管道粗糙度等因素有关,对于标准节流装置, α 值可直接从有关手册中查出; ϵ 为体积膨胀校正系数,可压缩流体(气体和蒸气)体积膨胀系数 $\epsilon < 1$,不可压缩性的液体 $\epsilon = 1$; Δp 为节流装置前后实际测得的静压差。

由以上流量计算公式可以看出,根据所测的差压来计算流量其准确与否的关键在于 α 的取值,对于国家规定的标准节流装置来说,在某些条件确定后其值可以通过有关手册中查到的一些数据计算得到。对于非标准节流装置,其值只能通过实际来确定。所以节流装置的设计与应用是以一定的应用条件为前提的,一旦条件改变,就不能随意套用,必须另行计

算。否则,将会造成较大的测量误差。

由式(5-10),当 $\alpha, \epsilon, \rho, F_0$ 均已选定,并在某一工作范围内均为常数时,流量与差压的平方根成正比,即 $Q=k\sqrt{\Delta p}$ 。所以,这种流量计测量流量时,为了得到线性的刻度指示,就必须在差压信号之后加入开方器或开方运算。否则,流量标尺的刻度将是不均匀的,并且在起始部分的刻度很密,即误差将增大。

4. 节流装置类型

节流装置按其标准化程度可分为标准型和非标准型两大类。

1) 标准节流装置

标准节流装置是按照标准文件设计、制造、安装和使用,无须进行实际校准即可用来测量流量并估算测量误差的节流装置,在实际应用中大多采用标准节流装置。

如图 5-12 所示,全套标准节流装置由节流件、取压装置、节流件上游侧第一、二阻力件、下游侧第一阻力件及它们之间的直管段所组成。标准节流装置同时规定了它们适应的流体种类,流体流动条件,以及对管道条件、安装条件、流动参数的要求,如果设计制造、安装使用都符合规定的标准,则可不必要通过实验标定。

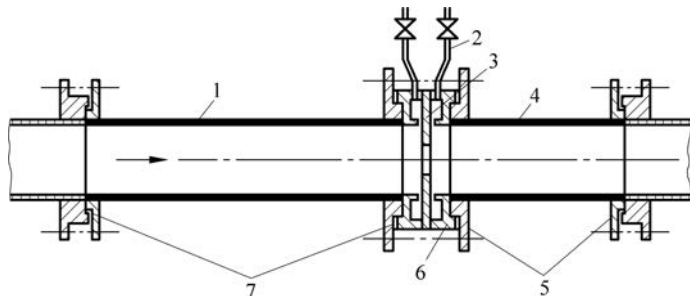


图 5-12 全套标准节流装置

1—上游直管段；2—导压管；3—孔板；4—下游直管段；5,7—法兰；6—取压环室

目前,国际上规定的标准节流装置有孔板、文丘里管和喷嘴(见图 5-13)。孔板是一块中心开有圆孔的金属薄圆平板,圆孔的入口朝着流动方向,并有尖锐的直角边缘,圆孔直径 d 由所选取的差压计量程而定。孔板结构简单,易于加工和装配,对前后在管段的要求低,但是孔板压力损失较大,可达最大压差 50%~90%,而且抗磨损和耐腐蚀能力较差。文丘里管则正好相反,其加工复杂、要求有较长的直管段,但压力损失小,只有最大压差的 10%~20%,而且比较耐磨损和防腐蚀。文丘里管具有圆锥形的入口收缩段和喇叭形的出口扩散段。喷嘴是由两个圆弧曲面构成的入口收缩部分和与之相接的圆筒形喉部组成,喷嘴的性能正好介于孔板和文丘里管之间,可根据各种节流装置的特点,从实际需要加以选择。

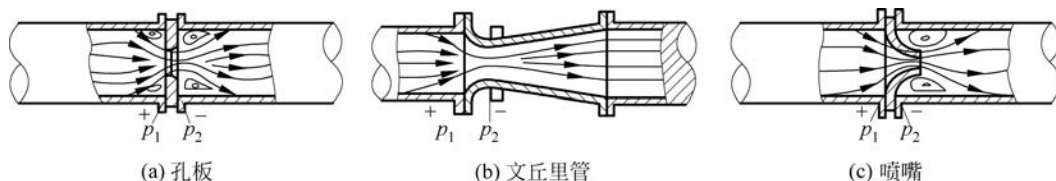


图 5-13 3 种标准节流装置

2) 非标准节流装置

非标准节流装置是成熟度较差、尚未列入标准文件的节流装置,它主要用于特殊介质或特殊工况下的流量检测。它们的估算方法与标准节流装置基本相同,只是所用数据不同,这些数据可以在有关手册查到。但非标准节流装置在使用前要进行实际标定。典型的非标准节流装置包括 1/4 圆喷嘴、锥形入口孔板等。

目前,对各种节流装置取压的方式均有不同,即取压孔在节流装置前后的位置不同,即使处在同一个位置上,为了达到压力均衡,也采用不同的方法。实际上,对标准节流装置的每种节流元件的取压方式都有明确规定。以孔板为例,通常采用的取压方式有角接取压、法兰取压、径距取压等,取压孔大小及各部件尺寸均有相应规定,可以查阅有关手册。

5. 差压变送器(差压计)

节流装置前后的压差测量是用差压变送器或差压计来实现的。下面以 DDZ-III 型差压变送器为例予以说明。差压变送器基于力矩平衡原理,主要由机械部件和振荡放大电路两部分组成。



图 5-14 差压变送器外形图

DDZ-III 型差压变送器的实物外观如图 5-14 所示,其内部结构原理如图 5-15 所示。当被测压力通过高压室和低压室的比较生成压差 $\Delta p = p_1 - p_2$ 后,该压差作用在具有一定有效面积的敏感元件上,形成作用力 F_i 。该作用力作用在主杠杆的下端,以密封膜片为支点推动主杠杆按逆时针方向偏转,其结果形成力 F_1 推动矢量机构沿水平方向移动。由于如图 5-16(a)所示矢量机构的存在及其力的合成作用,以及水平方向的力 F_1 由向上的力 F_2 和斜向的力 F_3 合成,于是力 F_1 产生有向上的分力 F_2 。分力 F_2 的作用是牵引副杠杆以 O_2 为支点按顺时针方向偏转,使固定在副杠杆上的检测片移近差动变压器,使其气隙减小,此时差动变压器的输出电压增大,并通过放大器使采用标准制式 4~20mA 的输出电流 I_O 增大。同时输出电流流过反馈线圈,在永久磁钢的作用下产生反馈力 F_f ,该反馈力作用在副杠杆上使其按逆时针方向偏转。于是,当反馈力 F_f 与作用力 F_2 在副杠杆上形成的力矩达到平衡时,杠杆系统保持稳定状态,从而最终使输出电流信号能反映被测差压的大小。

注意,这里的调零弹簧作用在副杠杆的下端,用以调整弹簧张力使其达到零点调整的目的;零点迁移弹簧作用在主杠杆的上端,用以调整弹簧张力使其抵消预先加在杠杆上的差压(如液位测量中正、负迁移量)。

根据以上分析并简化可得杠杆及矢量机构的受力分析结果,如图 5-17 所示。于是以 O_1 为支点的杠杆存在力矩关系为

$$F_1 l_1 = F_i l_i = A \cdot \Delta p \cdot l_i = A l_i \cdot \Delta p \quad (5-13)$$

式中: A 为敏感元件的有效面积。

考虑如图 5-16(b)所示矢量机构力的合成原理有

$$F_2 = F_1 \tan \theta \quad (5-14)$$

式中: θ 为矢量机构的倾斜角。

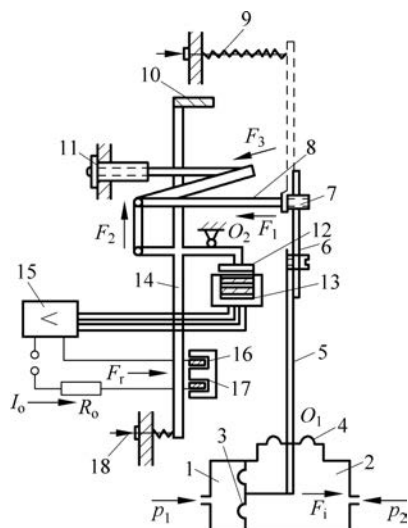


图 5-15 DDZ-III 型差压变送器工作原理示意图

- 1—高压室；2—低压室；3—膜片或膜盒；4—密封膜片；5—主杠杆；6—过载保护簧片；
7—静压调整螺钉；8—矢量机构；9—零点迁移弹簧；10—平衡锤；11—量程调整螺钉；12—检测片；
13—差动变压器；14—副杠杆；15—放大器；16—反馈线圈；17—永久磁钢；18—调零弹簧

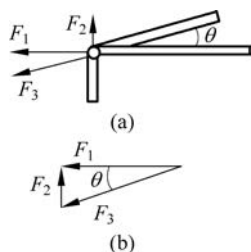


图 5-16 矢量机构示意图及受力分析

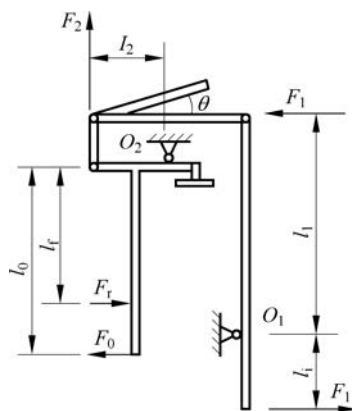


图 5-17 杠杆矢量机构受力图

考虑当分力 F_2 作用在副杠杆上时变送器达到平衡状态,于是以 O_2 为支点的形成力矩平衡关系为

$$F_2 L_2 + F_0 Z_0 \approx F_f l_f \quad (5-15)$$

式中: F_0 表示由调零元件产生的零点调整作用力。

再考虑反馈线圈的特性有输出电流 I_o 与反馈力 F_f 之间的关系为

$$F_f = \pi D W B \cdot I_o \quad (5-16)$$

式中: D 为线圈平均直径; W 为线圈匝数; B 为磁场磁感应强度。

所以,综合以上 4 个关系式可得

$$I_o = \frac{l_i l_2 A \cdot \tan \theta}{l_1 l_f \cdot \pi D W B} \cdot \Delta p + \frac{l_0}{l_i \cdot \pi D W B} \cdot F_0 = \frac{K_i \cdot \tan \theta}{K_f} \cdot \Delta p + \frac{K_o}{K_f} \cdot F_0 \quad (5-17)$$

式中: 输入系数 $K_i = l_i l_2 A / l_1 l_f$; 输出系数 $K_o = l_o / l_i$; 反馈线圈系数 $K_f = \pi DWB$ 。

由此可见, 变送器的输出电流 I_o 与被测压差 Δp 成正比, 具有线性特性。同时当调整矢量机构的倾斜角 θ 和反馈线圈系数中的线圈匝数 W 时, 可使变送器的量程改变。一般地, 矢量机构的倾斜角 θ 可在 $4^\circ \sim 15^\circ$ 间调整, 反馈线圈匝数可最大变换为 3 倍, 于是变送器的最大量程与最小量程的比值可达到的倍数为

$$\frac{\tan 15^\circ}{\tan 4^\circ} \times 3 = 3.8 \times 3 = 11.4$$

在以上分析的机械力矩平衡系统的基础上, 振荡放大电路可将差动变压器上检测片的微小位移转换为电压信号, 并放大转换为 $4 \sim 20\text{mA}$ 的电流信号。它相当于位移检测和功率放大电路, 因而主要由差动变压器、低频振荡器、检波电路和功率放大器 4 部分组成, 其功能模块结构如图 5-18 所示。



图 5-18 DDZ-III 型差压变送器功能模块框图

当被测压差 Δp 经力矩平衡系统转换成差动变压器上检测片的位移 Δs 后, 差动变压器将该位移转变为变压器的输出电压。同时借助变压器输出端的电感效应, 与配接电容形成低频振荡回路, 从而使振荡频率与变压器输出电压保持相应的对应关系。检波电路从低频振荡器中获取交变信号, 最后再由功率放大电路放大成标准的输出电流, 并由串接在输出回路上的电阻分压取出反馈电压, 以形成反馈力矩使变送器达到平衡工作状态。

6. 流量显示

作为一个完整的测量控制系统, 在节流装置、差压变送器之后, 还要配上显示仪表。即节流装置把流体流量 q 转换成差压 Δp , 通过引压管传送到差压变送器, 差压变送器将差压信号转换为电流输出 I , 显示仪表接收电流信号通过内部的标度变换, 以标尺或数字的形式显示出流量的数值。

由流量基本方程式可以看出, 被测流量 q 与差压 Δp 成平方根关系, 对于直接配用差压变送器显示流量时, 流量标尺是非线性的。为了得到线性刻度, 应在差变之前加一个开方器或开方运算电路, 或者用内部带有开方功能的差压流量变送器接受压差信号, 则变送器的输出电流即与流量成为线性关系。

【例 5-1】 某管路介质的流量变化为 $0 \sim 100\text{t/h}$, 选用一台量程匹配的 DDZ-III 差压变送器与标准孔版配套测量流量, 已知标准孔版的输出差压信号为 $0 \sim 25\text{kPa}$, 对应差变输出为 $4 \sim 20\text{mA}$ 。工艺要求在 80t/h 报警, 问:

- (1) 内带开方器的差变的报警设定在多少 mA ?
- (2) 不带开方器的差变的报警设定在多少 mA ?
- (3) 此时标准孔版的输出差压信号为多少 kPa ?

解: (1) 内带开方器的差变:

因为 $q \propto \sqrt{\Delta p}$, 而 $\sqrt{\Delta p} \propto I$, 所以 $q \propto I$, 流量与差变输出电流呈线性关系; 对应差变输出由 $4 \sim 20\text{mA}$ 时的流量量程范围为 $0 \sim 100\text{t/h}$, 对应 80t/h 则有

$$\frac{80 - 0}{100 - 0} = \frac{I - 4}{20 - 4}, \quad I = (0.8 \times 16) + 4 = 12.8 + 4 = 16.8\text{mA}$$

可得,内带开方器的差变的 80t/h 报警设定在 16.8mA。

(2) 不带开方器的差变:

因为 $q \propto \sqrt{\Delta p}$, 则 $q^2 \propto \Delta p$, 而 $\Delta p \propto I$, 所以 $q^2 \propto I$, 流量与差变输出电流成平方关系, 因而, 对应差变输出 4~20mA 时的流量量程范围为 0~100t/h, 对应 80t/h 则有

$$\frac{(80-0)^2}{(100-0)^2} = \frac{I-4}{20-4}, \quad I = (0.64 \times 16) + 4 = 10.24 + 4 = 14.24 \text{mA}$$

可得,不带开方器的差变的 80t/h 报警设定在 14.24mA。

(3) 此时标准孔板的输出差压信号只与流量有关,与差变无关,即

$$q \propto \sqrt{\Delta p}, \quad q^2 \propto \Delta p, \quad \frac{(80-0)^2}{(100-0)^2} = \frac{\Delta p - 0}{25 - 0}, \quad \Delta p = 0.64 \times 25 = 16 \text{kPa}$$

此时标准孔板的输出差压信号为 16kPa。

7. 安装使用

标准节流装置的流量系数,都是在一定的条件下通过严格的实验取得的,因此对管道选择、流量计的安装和使用条件均有严格的规定。在设计、制造与使用时应满足基本规定条件,否则难以保证测量准确性。

1) 标准节流装置的使用条件

节流装置仅适用于圆形测量管道,在节流装置前后直管段上,内壁表面应无可见坑凹、毛刺和沉积物,对相对粗糙度和管道圆度均有规定。管径大小也有一定限制($D_{\text{最小}} \geq 50 \text{mm}$)。

2) 节流式流量计的安装

节流式流量计应按照手册要求进行安装,以保证测量精度。节流装置安装时要注意节流件开孔必须与管道同轴,节流件方向不能装反。管道内部不得有突入物。在节流件装置附近,不得安装测温元件或开设其他测压口。

3) 取压口位置和引压管路的安装

与测压仪表的要求类似,应保证差压计能够正确、迅速地反映节流装置产生的差压值。引压导管应按被测流体的性质和参数要求使用耐压、耐腐蚀的管材,引压管内径不得小于 6mm,长度最好在 16m 以内。引压管应垂直或倾斜敷设,其倾斜度不得小于 1:12,倾斜方向视流体而定。

4) 三阀组件必装

差压计用于测量差压信号,其差压值远小于系统的工作压力,因此,导压管与差压计连接处应装截断阀,截断阀后装平衡阀。在仪表投入时平衡阀可以起到单向过载保护作用。在仪表运行过程中,打开平衡阀,可以进行仪表的零点校验。

5) 辅件视情况而定

在差压信号管路中还有冷凝器、集气器、沉降器、隔离器、喷吹系统等附件,可查阅相关手册。

6) 几种敷设方式

根据被测流体和节流装置与差压计的相对位置,差压信号管路有不同的敷设方式。差压计的安装示意图见图 5-19。其中,图 5-19(a)为被测流体是液体而差压计分别在管道的下、上方的情况,以保证导压管中充满液体;图 5-19(b)为被测流体是气体而差压计分别在管道的上、下方的情况,要保证导压管中仅有气体,以减少测量误差;图 5-19(c)为被测流体

是蒸气时的情况,在靠近节流装置处安装冷凝器是为了保证两导压管内的冷凝水位在同一高度上。

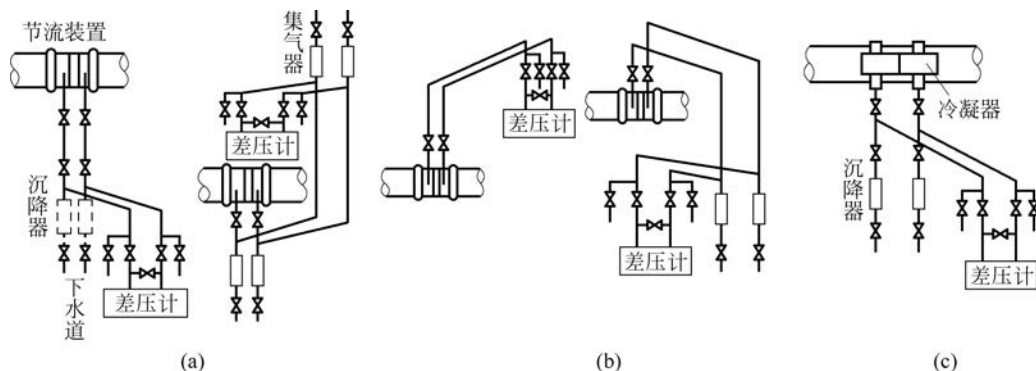


图 5-19 差压计的安装示意图

5.3.2 转子流量计

转子流量计也是利用节流原理测量流体的流量,是以差压不变,通过节流面积的变化来测量流量的大小,故又称恒压降、变节流面积流量计(上节的节流式流量计是基于变压降、恒节流面积的原理),也称浮子流量计。

1. 测量原理

转子流量计测量主体由一根从下向上逐渐扩大的垂直锥形管和一只可以沿着锥形管中心线上下自由浮动的转子(或称浮子)组成,如图 5-20 所示。被测流体从锥形管下端流入,经过转子与锥形管壁间的环隙,从上端流出。这时作用在转子上的力有三个:流体对转子向上的差压动力、转子在流体中的浮力和转子自身的重力。当这三个力达到平衡时,转子就平稳地浮在锥管内某一位置上,转子在锥管中的位置与流体流经锥管的流量的大小成一一对应关系。

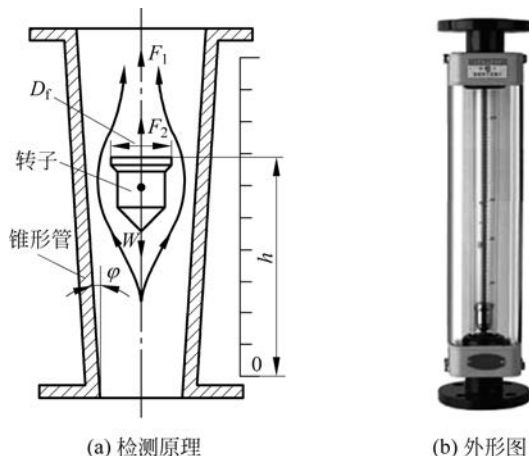


图 5-20 转子流量计检测原理

2. 流量公式

根据转子在锥形管中的受力平衡条件,可以写出力平衡公式:

$$\Delta p \cdot A_f + V_f \rho_f g = V_f \rho_f g \quad (5-18)$$

式中: Δp 为差压; A_f 、 V_f 分别为转子的截面积、体积; ρ 、 ρ_f 分别为流体密度、转子密度。

将此恒压降公式代入节流流量方程式 $q_v = \alpha \epsilon A_0 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$, 则有

$$q_v = \alpha A_0 \sqrt{\frac{2gV_f(\rho_f - \rho)}{\rho A_f}} \quad (5-19)$$

式中: A_0 为环隙面积, 它与转子高度 h 相对应; α 为流量系数。

对于小锥度锥形管, 近似有 $A_0 = ch$, 系数 c 与浮子和锥形管的几何形状及尺寸有关。则流量方程式为

$$q_v = \alpha ch \sqrt{\frac{2gV_f(\rho_f - \rho)}{\rho A_f}} \quad (5-20)$$

式(5-20)给出了流量 q_v 与转子高度 h 之间的关系, 这个关系近似于线性。

流量系数 α 与流体黏度、转子形状、锥形管与转子的直径比以及流速分布等因素有关, 每种流量计有相应的界限雷诺数, 在低于此值情况下 α 不再是常数。流量计应工作在 α 为常数的范围, 即大于一定的雷诺数范围。

3. 刻度换算

流量方程式(5-20)中含有流体密度 ρ , 仪表制造厂不可能按照各种流体密度刻制不同的流量标尺。针对这种非通用性仪表, 按国家规定, 转子流量计在流量刻度时是在标准状态(20℃、0.101325MPa 压力)用水(对液体)或空气(对气体)介质进行标定的。所以, 当被测介质或工况改变时, 应对仪表刻度进行修正。

对于一般液体介质而言, 当温度和压力变化时, 流体的黏度变化不大, 只需进行密度校正。根据上述流量方程式(5-20), 容易得到修正式为

$$q'_v = q_{v0} \sqrt{\frac{(\rho_f - \rho')\rho_0}{(\rho_f - \rho_0)\rho'}} \quad (5-21)$$

式中: ρ_f 为转子密度, ρ_0 为标定介质密度, ρ' 为被测介质的实际密度; q_{v0} 为标定刻度流量, q'_v 为被测介质的实际流量。

对于气体介质, 由于 $\rho_f \gg \rho'$ 、 $\rho_f \gg \rho_0$, 上式可以简化为

$$q'_v = q_{v0} \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho'}} \quad (5-22)$$

式中: ρ_0 为标定状态下空气密度, ρ' 为被测气体密度。

【例 5-2】 用转子流量计来测量某油品的流量, 其密度为 780kg/m^3 。当流量计读数为 $3.23\text{m}^3/\text{h}$ 时, 求该油品的实际流量。设转子的密度为 7900kg/m^3 。

解: 由题意知, 该转子流量计的读数是出厂时以标准状态下的水的流量进行刻度的, 当被测介质变化时, 流量计的读数不能代表实际流量。由式(5-21)知, 实际流量为

$$q'_v = 3.2 \times \sqrt{\frac{(7900-780) \times 998.3}{(7900-998.3) \times 780}} = 3.68\text{m}^3/\text{h}$$

由此可以看到, 由于被测介质的密度的变化, 流量计的读数与实际流量之间存在较大的差别, 在使用时要特别注意。

4. 信号显示

转子流量计根据显示方式的不同可分为两类: 一类是直接指示型的转子流量计, 其锥

形管一般由玻璃制成,并在管壁上标有流量刻度,因此可以直接根据转子的高度进行读数,这类流量计也称玻璃转子流量计;另一类为电远传转子流量计,如图 5-21 所示,它主要由金属锥形管、转子、连动杆、铁芯、差动线圈和电子线路等组成,当被测流体的流量变化时,转子在锥形管内上下移动,由于转子、连动杆和铁芯为刚性连接,转子的运动将带动铁芯一起产生位移,从而改变差动变压器的输出,通过电子线路将信号放大后可使输出与流量成一一对应关系的电压或电流信号。

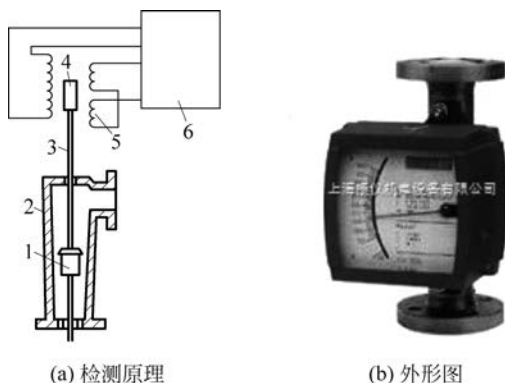


图 5-21 电远传转子流量计

1—转子; 2—锥管; 3—连动杆; 4—铁芯; 5—差动线圈; 6—电子线路

5. 应用特点

- (1) 转子流量计主要适用于中小管径,小的可以为几毫米,最大一般不超过 100mm。
- (2) 转子流量计通常用于较低雷诺数的中小流量的检测,相同口径下可测最小流速比节流式的流量计要小,而且量程比可达 10 : 1。
- (3) 流量计结构简单,使用方便,工作可靠,仪表前直管长度要求不高,但要求垂直安装。
- (4) 流量计的测量准确度易受被测介质密度、黏度、温度、压力、纯净度、安装质量等的影响,正常情况下流量计的基本差约为仪表量程的 $\pm 1\% \sim \pm 2\%$ 。
- (5) 使用时,当被测介质为非标准状态下的水或空气时,流量计的指示值要进行修正。



视频讲解

5.4 速度式流量计

速度式流量计的测量原理均基于与流体流速相关的各种物理现象,仪表的输出与流速有确定的关系,即可知流体的体积流量。工业生产中使用的速度式流量计种类很多,它们各有特点和适用范围。本节介绍两种应用较普遍、有代表性的流量计。

5.4.1 涡轮流量计

涡轮流量计是由涡轮流量传感器与显示仪表两部分构成。涡轮流量传感器是利用安装在管道中可以自由转动的叶轮感受流体的速度变化,从而测定管道内的流体流量。

1. 测量原理

涡轮流量传感器主要由涡轮叶片、导流器、磁电感应转换器、放大器及外壳组成,如图 5-22 所示。其测量原理描述如下:在管形壳体 4 的内壁上装有导流器 2,一方面促使流

体沿轴线方向平行流动,另一方面支撑了涡轮的前后轴承,涡轮 1 上装有高导磁性的螺旋桨形叶片,管壁外装有磁钢和线圈组成的磁电感应转换器 3 和前置放大器 5。当流体通过涡轮叶片与管道之间的间隙时,由于叶片前后的压差产生的力推动叶片使涡轮旋转。在涡轮旋转的同时,高导磁性的叶片就周期性地扫过磁钢,使该路的磁阻发生周期性的变化,线圈中的磁通量也跟着发生周期性的变化,线圈中便感应出交流电信号。交变信号的频率与涡轮的转速成正比,也即与流体的体积流量成正比。这个电信号经前置放大器放大整形后,便成为标准脉冲频率电信号,可直接送往计算机的计数口或数字输入通道,以测量瞬时流量或累计总量。

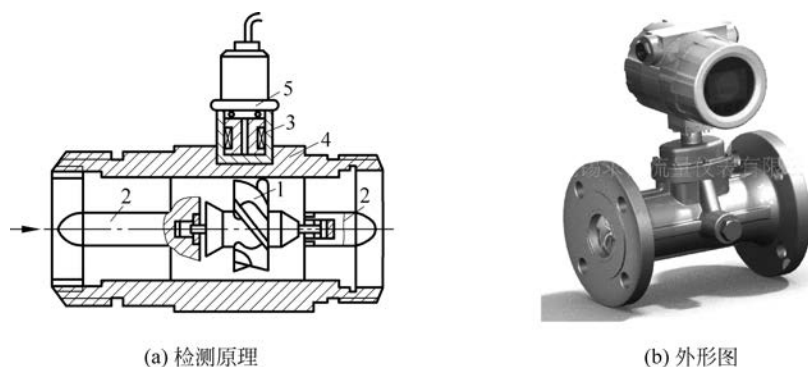


图 5-22 涡轮流量计

1—涡轮; 2—导流器; 3—磁电感应转换器; 4—外壳; 5—前置放大器

2. 流量方程式

涡轮流量计所测的流量 q_v 与其信号脉冲频率 f 成正比关系,表达式为

$$q_v = f/k \quad \text{或} \quad f = k q_v \quad (5-23)$$

式中: q_v 为流体的体积流量; f 为信号脉冲频率,即每单位时间发出的脉冲数; k 为仪表系数,为通过流量计每升体积流量所产生的脉冲数。

仪表系数 k 与流量计的涡轮结构等因素有关。理想情况下, k 恒定不变,则 q_v 与 f 呈线性关系。但实际情况是涡轮有轴承摩擦力矩、电磁阻力矩、流体对涡轮的黏性摩擦阻力等因素,所以 k 并不严格保持常数,特别是在流量很小的情况下。

3. 使用特点

涡轮流量计测量精度高,可以达到 0.5 级以上;反应迅速,可测脉动流量;耐高压,不受干扰;安装方便,线性度好;输出信号为电频率信号,特别适用于与二次显示仪、PLC、DCS 等计算机控制系统配合使用。

涡轮流量计的主要缺点是高速转动的轴承易磨损,降低了长期运行的稳定性,影响使用寿命。通常涡轮流量计主要应用与测量精度要求高、流量变化快的场合,还用作标定其他流量计的标准仪表。

涡轮流量计一般应水平安装,并保持前后要有一定的直管段。为保证被测介质洁净,表前应加装过滤器。如果被测液体易气化或含有气体时,要在表前装上消气器。

5.4.2 电磁流量计

电磁流量计是基于电磁感应原理工作的流量测量仪表。它能测量具有一定电导率的液体的体积流量。由于它的测量精度不受被测液体的黏度、密度及温度等因素变化的影响,且

测量管道中没有任何阻碍液体流动的部件,所以几乎没有压力损失。适当选用测量管中绝缘内衬和测量电极的材料,就可以测量各种腐蚀性(酸、碱、盐)溶液的流量,尤其在测量含有固体颗粒的液体,如泥浆、纸浆、矿浆等的流量时,更显示出其优越性。

1. 电磁流量计的工作原理

图 5-23 为电磁流量计原理图。在磁铁 N-S 形成的均匀磁场中,垂直于磁场方向有一个直径为 D 的管道,管道由不导磁材料制成,管道内表面衬挂绝缘衬里。当导电的液体在管道中流动时,导电液体切割磁力线,于是在和磁场及其流动方向垂直的方向上产生感应电动势,如安装一对电极,则电极间产生和流速成比例的电位差

$$U = BDv \quad (5-24)$$

式中: D 为管道内径; B 为磁场磁感应强度; v 为液体在管道中的平均速度。

由式(5-24)可得到 $v = U/BD$, 则体积流量为

$$q_v = \frac{\pi D^2}{4} \cdot v = \frac{\pi D}{4} \cdot U \quad (5-25)$$

从式(5-25)可见,流体在管道中流过的体积流量和感应电动势成正比,欲求出 q_v 值,应进行除法运算 U/B 。电磁流量计是运用霍尔元件实现这一运算的。

采用交变磁场以后,感应电动势也是交变的。这不但可以消除液体极化的影响,而且便于后面环节的信号放大,但增加了感应误差。

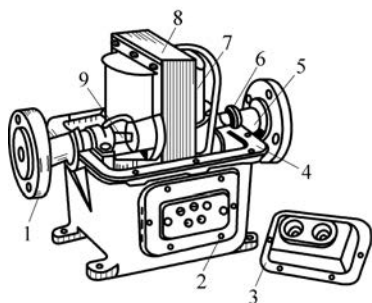
2. 电磁流量计的结构

电磁流量计由外壳、励磁线圈及磁轭、电极和测量导管四部分组成,如图 5-24 所示。磁场是用 50Hz 电源励磁产生,励磁线圈有以下三种绕制方法。

(1) 变压器铁芯型,适用于直径 25mm 以下的小口径变送器。

(2) 集中绕组型,适用于中等口径,它有上、下两个马鞍形线圈,为了保证磁场均匀,一般加极靴,在线圈的外面加一层磁轭。

(3) 分段绕制型,适用于大于 100mm 口径的变送器,分段绕制可减小体积,并使磁场均匀。



(a) 内部结构



(b) 外形图

图 5-24 电磁流量计外形图

1—法兰盘; 2—外壳; 3—接线盒; 4—密封橡皮; 5—导管; 6—密封垫圈; 7—励磁线圈; 8—铁芯; 9—调零电位器

电极与被测液体接触,一般使用耐腐蚀的不锈钢和耐酸钢等非磁性材料制造,通常加工成矩形或圆形。

为了能让磁力线穿过,使用非磁性材料制造测量导管,以免造成磁分流。中小口径电磁流量计的导管用不导磁的不锈钢或玻璃钢等制造;大口径的导管用离心浇铸的方法把橡胶和线圈、电极浇铸在一起,可减小因涡流引起的误差。金属管的内壁挂一层绝缘衬里,防止两个电极被金属导管短路,同时还可以防腐蚀,衬里一般使用天然橡胶(60℃)、氯丁橡胶(70℃)、聚四氟乙烯(120℃)等。

5.5 质量流量计



视频讲解

前面介绍的流量计都是用于流体的体积流量的测量。由于流体的体积是流体温度、压力和密度的函数,在流体状态参数变化的情况下,采用体积流量测量方式会产生较大误差。因此,在生产过程和科学实验的很多场合,以及作为管理和核算等方面的重要参数,流体质量流量的检测更为重要。目前质量流量计主要分为推导式、直接式和补偿式三大类。本节介绍推导式质量流量测量和直接式质量流量测量。

5.5.1 推导式质量流量测量

推导式质量流量计是采用测量体积的流量计与密度计的结合,并加以运算得出质量流量信号的测量仪表。体积流量计可以是差压式,也可以是速度式;密度计可以是核辐射式、超声波式,也可以是振动管式。

1. ρq_v^2 检测器与密度计组合的形式

利用节流流量计或差压流量计与连续测量密度的密度计组合测量质量流量的组成原理如图 5-25 所示。流量计检测出与管道中流体的 ρq_v^2 成正比的信号 x ,由密度计检测出与 ρ 成正比的信号 y 。

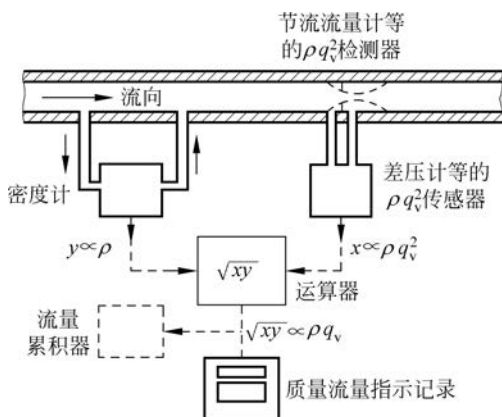


图 5-25 ρq_v^2 检测器与密度计组合的质量流量计

由于差压式流量计测得的信号 x 正比于介质的差压 Δp ,密度计测量的信号 y 正比于测量介质的密度。将 x 、 y 同时送到乘法器运算,可得到 $xy \propto \rho^2 q_v^2$,再将其送至开平方运算器后得质量流量。质量流量表达式为

$$q_m = \sqrt{xy} = k\sqrt{\rho^2 q_v^2} = k\rho q_v \quad (5-26)$$

将 q_m 信号送至累积器即可得到总质量流量。

2. 体积流量计与密度计的组合形式

容积、漩涡、电磁式等流量计可测量管道中的体积流量 q_v , 将它与密度计组合可构成质量流量计。目前, 实际使用的种类很多, 如由体积流量计和浮子式密度计组合、涡轮流量计和浮子式密度计组合、电磁流量计与核辐射密度计组合等。

现以涡轮流量计与密度计组合而成的质量流量计为例来说明此类流量计的工作原理, 如图 5-26 所示。涡轮流量计检测出与管道内流体的体积流量 q_v 成正比的信号 x , 由密度计检测出与流体的密度 ρ 成正比的信号 y , 经乘法器后得质量 $q_m = xy = k\rho q_v$, 若求 t 时间内流过的总质量流量, 需将 q_m 信号送至累积器即得累积流量

$$q_{m\text{总}} = \int_0^t q_v dt \quad (5-27)$$

3. ρq_v^2 检测器与体积流量计组合的形式

将测量 ρq_v^2 的差压式流量计与测量体积流量 q_v 的涡轮、电磁、容积或漩涡式等流量计组合, 通过乘除器进行 $\rho q_v^2 / q_v$ 运算而得出质量流量, 现以涡轮流量计与差压式流量计组合为例来说明其工作原理。

ρq_v^2 检测器与体积流量计组合的质量流量计如图 5-27 所示, 从差压式流量计检测到的量 x 与 ρq_v^2 成正比, 从涡轮流量计检测到的量 y 与 q_v 成正比。两者之比为质量流量, 即得

$$q_m = \frac{x}{y} = k \frac{\rho q_v^2}{q_v} = k\rho q_v \quad (5-28)$$

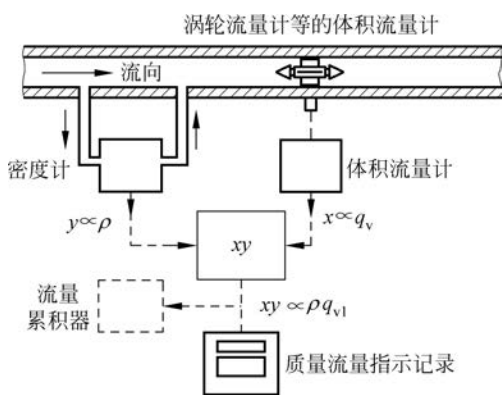


图 5-26 体积流量计和密度计组合的质量流量计

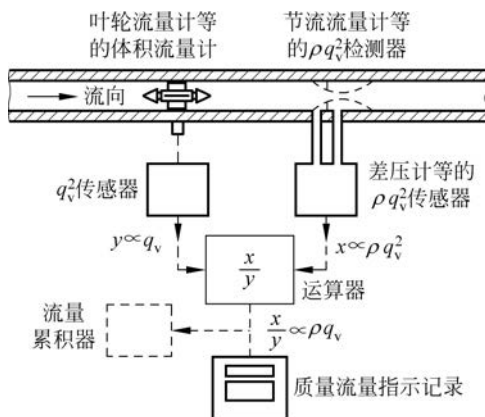


图 5-27 ρq_v^2 检测器与体积流量计组合的质量流量计

输出信号一路送指示器或记录器显示质量流量, 一路送累积器得累积流量。

5.5.2 直接式质量流量测量

在质量流量测量中有时需直接测出质量流量, 以提高测量精度和反应速度。科里奥利力(简称科氏)质量流量计就是一种直接式质量流量计。它是根据牛顿第二定律建立的力、加速度和质量的关系, 来实现对质量流量的测量。

片机流量显示仪表(系统)。

5.6.1 整机电路组成

涡轮流量显示仪表可以是以 AT89C52 单片机为核心部件,外配信号接收器和放大整形电路、显示驱动电路、RS-485 通信接口电路、供电电源电路、看门狗及电压监控电路等组成,其整机的硬件电路组成如图 5-30 所示。

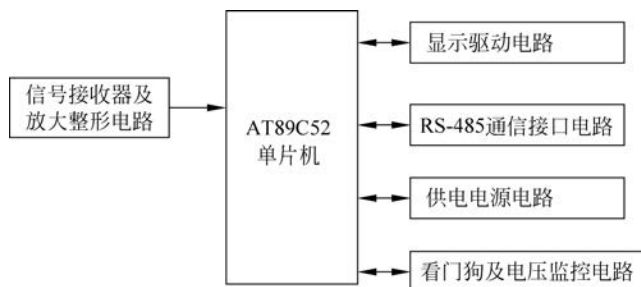


图 5-30 涡轮流量显示仪表整机电路组成

信号接收器和整形电路作为信号的输入级,其稳定和可靠对保证整个仪表的准确度非常重要,接收器可以选择 LWF-T 型专用接收器,整形电路采用 OP07 放大器,通过对脉冲的电压调整和边缘修正,使原来幅值为 12V 的脉冲信号调整为 5V,整形后的脉冲信号边缘更整齐,为后级的采样和周期计算打下了良好的信号基础。LED 显示驱动电路,可以采用动态扫描显示方式,以两片 74HC374 进行段锁存和位锁存,段驱动采用 8 只 NPN 三极管,位驱动采用达林顿阵列 ULN2003 芯片。看门狗电路采用 X5045 芯片,除了内部具有 EEPROM 存储器外,还有上电复位功能、WDT 功能、电源电压监控功能。通信方面,可以简单到采用一片 MAX487E 芯片为收发器的 RS-485 总线通信接口电路即可。供电电源电路分别向系统数字电路提供逻辑 5V 电源,向模拟电路提供 $\pm 12\text{V}$ 与 $\pm 5\text{V}$ 模拟电源。

实际上,其他外围电路都比较成熟,这里不再赘述。要想获得宽范围脉冲频率的精确测量,关键在于脉冲频率的检测方案及其算法。

5.6.2 检测电路

检测硬件电路如图 5-31 所示,来自涡轮流量传感器的脉冲信号,经滤波、整形、光电隔离等信号处理后,一方面接到单片机计数器 T1 的计数输入端,另一方面接到外部中断 INT0 的输入端。在每个脉冲的下降沿,不但引起 T1 加一计数,而且引起外部事件中断。这一方案的设计意图是:脉冲引入 T1 计数端,为定时计数算法(指在固定的测量周期 T 内,利用计数器记录脉冲数 N ,从而算出频率 $f = N/T$)提供硬件支持;脉冲引入 INT0 外部中断输入端,每接到一个脉冲引起中断,为计数查时算法(指用计数器记录固定个脉冲数 K ,查询记录 K 个脉冲所花费的时间 t ,从而算出频率 $f = K/t$)提供硬件支持。前者算法的最大误差是一个脉冲,所以一般适于高频脉冲测量场合;后者算法的精度取决于定时器的最小定时间隔,所以只适用于低频脉冲测量场合。

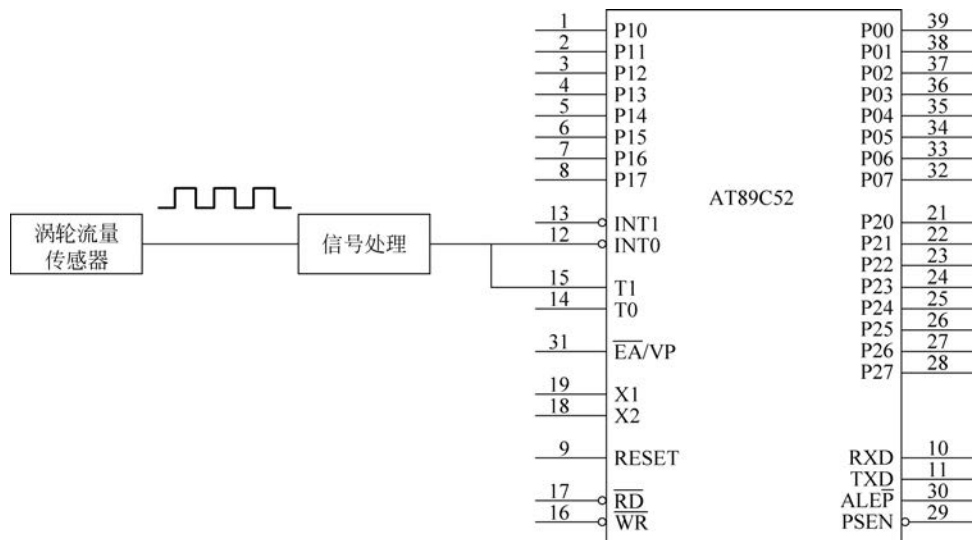


图 5-31 检测硬件电路

5.6.3 检测算法

限时定数算法是将定时记数法与记数查时法糅合在一起,既能在高频段又能在低频段实现脉冲频率的精确测量。算法原理如图 5-32 所示,每到固定的时间 T (取 $T=2s$) 后,以下一个脉冲的下降沿为记录时刻,此时计数器刚好记录下这一个脉冲,同时引起 INT0 中断。在 INT0 中断服务程序里,从 T1 计数器取出计数值 K 、从定时器中取出 T1 计数器记录 K 个脉冲所花费的时间 t ,从而算出频率 $f=K/t$ 。关于程序编制请读者参考有关文献。

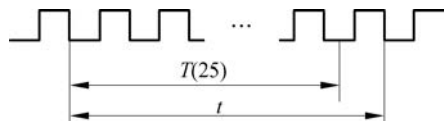


图 5-32 算法示意图

思考题与习题

1. 什么是瞬时流量和累积流量? 它们有几种表示方法? 相互之间的关系是什么?
2. 简述流量检测方法,列举不同检测方法对应的典型流量计。
3. 以椭圆齿轮流量计为例,说明容积式流量计的工作原理。
4. 说明节流式流量计组成及各部分作用。
5. 简述差压式流量计的工作原理。
6. 有一台 DDZ-III 差压变送器与标准孔版配套测量流量,差压变送器的量程为 16kPa,输出为 4~20mA,相应测量范围为 0~50t/h,工艺要求在 40t/h 报警,问:
 - (1) 带开方器的差变的报警设定在多少毫安?
 - (2) 不带开方器的差变的报警设定在多少毫安?

7. 有一台节流式流量计,满量程为 10kg/s ,当流量为满刻度的 65% 和 30% 时,试求流量值在标尺上的相应位置(距标尺起始点),设标尺总长度为 100mm 。

8. 有一节流式流量计,用于测量水蒸气流量,设计时的水蒸气密度 $\rho=8.93\text{kg/m}^3$ 。但实际使用时被测介质的压力下降,使实际密度减小为 8.12kg/m^3 。试求当流量计读数为 8.5kg/s 时,实际流量为多少? 由于密度变化使流量指示值产生的相对误差为多少?

9. 用水标定的转子流量计,其满刻度值为 $1000\text{dm}^3/\text{h}$,不锈钢浮子密度为 7.92g/cm^3 ,现用来测量密度为 0.79g/cm^3 的乙醇流量,问浮子流量计的测量上限是多少?

10. 说明涡轮流量计的工作原理。

11. 某一涡轮流量计的仪表常数 $k=100$ 次/l,当它测量流量时的输出频率 $f=400\text{Hz}$ 时,其相应的瞬时流量是多少?

12. 简述电磁流量计的工作原理。

13. 简述推导式质量流量计的基本组合形式及各自工作原理。