

第1篇

流体力学、传热学及电工学基础知识

.....

第1章

流体力学基础知识

1.1 流体的主要物理性质

实际工程中给排水系统和采暖空调通风系统的介质都是运动的流体。流体中各质点之间的内聚力极小,且不能形成固定的形状,但流体在密闭状态下却能承受较大的压力。充分认识以上所说的流体的基本特征,深刻研究流体处于静止或运动状态的力学规律,才能很好地把水、空气或其他流体按人们的意愿进行输送和利用,为人们日常生活和生产服务。

1.1.1 密度和容重

1. 密度

对于均质流体,单位体积的质量称为流体的密度,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中: m ——流体的质量,kg;

V ——流体的体积, m^3 。

流体的密度随外界压力和温度的变化而变化。

2. 容重

流体处于地球引力场中,所受的重力是地球对流体的引力。单位体积流体的重量称为流体的容重,即

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-2)$$

式中: G ——流体的重量,N;

V ——流体的体积, m^3 。

1.1.2 流体的黏滞性

黏滞性是流体固有特性。当流体相对于物体运动时,流体内部质点间或流层间因相对运动而产生内摩擦力(切向力或剪切力)以反抗相对运动,从而产生了摩擦阻力。这种在流

体内部产生内摩擦力以阻抗流体运动的性质称为流体的黏滞性,简称黏性。黏性是流动性的反面,流体的黏性越大,其流动性越小。流体的黏性是流体产生的根源。

用流速仪测出管道中某一断面的流速分布,如图 1-1 所示。流体沿管道直径方向分成很多流层,各流层的流速不同,并按照某种曲线规律连续变化,管轴心的流速最大,沿着管道壁的方向递减,直至管壁处的流速为零。

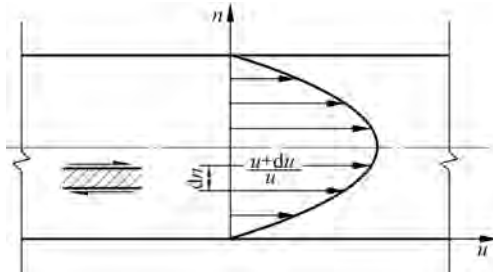


图 1-1 管道中断面流速分布

牛顿在总结实验的基础上,首先提出了流体内摩擦力的假说——牛顿内摩擦定律,如用切应力表示,可写为

$$\tau = \frac{F}{S} = \mu \frac{du}{dn} \quad (1-3)$$

式中: F ——内摩擦力, N;

S ——摩擦流层的接触面面积, m^2 ;

τ ——流层单位面积上的内摩擦力,又称切应力, N/m^2 或 Pa ;

μ ——与流体种类有关的系数,称为动力黏度, $N \cdot s/m^2$ 或 $Pa \cdot s$;

$\frac{du}{dn}$ ——流速梯度,表示速度沿垂直于速度方向的变化率, s^{-1} 。

流体黏性的大小,可用黏度表达,除动力黏度 μ 外,常用运动黏度 $\nu = \mu/\rho$ 表示,单位为 m^2/s 。

1.1.3 压缩性和膨胀性

流体体积随着压强的增大而减小的性质称为流体的压缩性。流体体积随着温度的升高而增大的性质称为流体的膨胀性。液体和气体的压缩性和膨胀性有所区别。

1. 液体的压缩性和膨胀性

水的压力增加一个标准大气压时,其体积仅仅缩小 $1/2000$,因此实际工程中认为液体是不可压缩流体。液体随着温度的升高体积膨胀的现象较为明显,因此认为液体具有膨胀性。流体的膨胀性通常用膨胀系数 α 来表示,它是指在一定的压力下温度升高 $1^\circ C$ 时,流体体积的相对增加量。水在温度升高 $1^\circ C$ 时,密度降低仅为万分之几,因此一般工程中也不考虑液体的膨胀性。但在热网系统中,当温度变化较大时,需考虑水的膨胀性,并应注意在系统中设置补偿器、膨胀水箱等设施。

2. 气体的压缩性和膨胀性

气体和液体不同,具有显著的压缩性和膨胀性。在温度不太低,压强不太高时,可以将这些气体近似地看作理想气体,气体压强、温度、比容之间的关系服从理想气体状态方程

$$pV = RT \quad (1-4)$$

式中: p ——气体的绝对压强, N/m^2 ;

V ——气体的比容, m^3/kg ;

T ——气体的热力学温度, K ;

R ——气体常数,在标准状态下, $R = \frac{8314}{M}$ ($\text{J/kg} \cdot \text{K}$); M 为气体分子量。

气体虽然是可以压缩和膨胀的,但是,对于气体流速较低的情况,在流动过程中压强和温度的变化较小,密度仍可以看作常数,这些气体称为不可压缩气体。在通风空调工程中,所遇到的大多数气体流速较低,都可看作不可压缩流体,而膨胀性要考虑,所以在空调管道中通常设置补偿器。

1.2 流体静力学基础知识

流体静止是运动中的一种特殊状态。由于流体静止时不显示其黏滞性,不存在切向应力,同时认为流体也不能承受拉力,不存在由于黏滞性所产生运动的力学性质。因此,流体静力学的中心问题是研究流体静压强的分布规律。

1.2.1 流体静压强及其分布规律

1. 流体静压强及其特性

处于相对静止状态下的流体,由于本身的重力或其他外力的作用,在流体内部及流体与容器壁面之间存在着垂直于接触面的作用力,这种作用力称为静压力。单位面积上流体的静压力称为流体的静压强。在静止流体中,作用于任意点不同方向上的压强在数值上均相同,常用 p 表示,单位为 N/m^2 。此外,压强的大小也可以间接地以流体的柱高度表示,如用米水柱或毫米汞柱等。若流体的密度为 ρ ,则液柱高度与压强的关系为

$$p = \rho gh \quad (1-5)$$

式中: p ——液体产生的压强, Pa ;

ρ ——液体密度, kg/m^3 ;

g ——重力加速度, N/kg ;

h ——液体深度, m 。

流体静压强有如下两个特征:

- (1) 流体静压强的方向必定沿着作用面的内法线方向。
- (2) 任意点的流体静压强只有一个值,它不因作用面方位的改变而改变。

2. 流体静压强的分布规律

流体静压强基本方程式(又称为流体静力学基本方程式)为

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-6)$$

式中: p ——静止液体中任意点的压强, kN/m^2 或 kPa ;

p_0 ——液体表面压强, kN/m^2 或 kPa ;

γ ——液体的重度, kN/m^3 ;

h ——所研究点在自由表面下的深度, m 。

该方程表示静水压强与水深成正比的直线分布规律。应用流体静压强基本方程式分析问题时,要抓住等压面这个概念,流体中压强相等的各点所组成的面为等压面。

1.2.2 压强的测量

工程计算中,压强有不同的量度基准:

(1) 绝对压强: 绝对压强是以完全真空为零点计算的压强,用 p_A 表示。

(2) 相对压强: 相对压强是以大气压强为零点计算的压强,用 p 表示。

相对压强与绝对压强的关系为

$$p = p_A - p_a \quad (1-7)$$

式中: p_a ——大气压强。

相对压强的正值称为正压(即压力表读数),负值称为负压,这时流体处于真空状态,通常用真空度(或真空压强)来度量流体的真空程度。所谓真空度,是指某点的绝对压强不足于一个大气压强的部分,用 p_k 表示,即

$$p_k = p_a - p_A = -p \quad (1-8)$$

真空度实际上等于相对压强的绝对值。图 1-2 为压力计量基本图示。

压强单位如前所述,除可用单位面积上的压力和工程大气压表示外,还可用液柱高度表示,三者的关系为: 1 个工程大气压 $\approx 10\text{mH}_2\text{O} \approx 735.6\text{mmHg} \approx 98\text{kN/m}^2 \approx 98\,000\text{Pa}$ 。

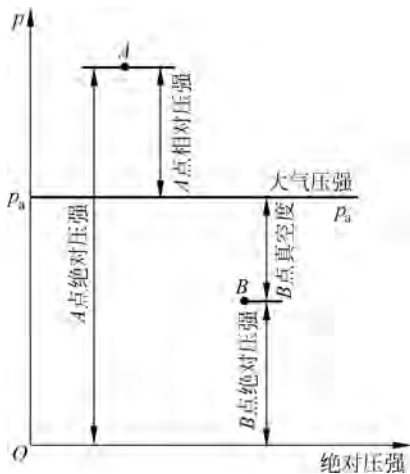


图 1-2 压力计量基本图示

测量流体静压强常用的测压仪器有液柱测压计、金属压力表和真空表等,多数测量仪表的显示值为相对压力值,也称为表面压力。

1.3 流体动力学基础知识

流体动力学是研究流体运动规律的科学,在流体静力学中,压强只与所处空间有关。在流体动力学中,压强还与运动的情况有关。

1.3.1 流体运动的基本概念

1. 压力流与无压流

(1) 压力流：流体在压差作用下流动时，流体整个周界都和固体壁相接触，没有自由表面。

(2) 无压流：液体在重力作用下流动时，液体的部分周界与固体壁相接触，部分周界与气体接触，形成自由表面。

2. 恒定流与非恒定流

(1) 恒定流：流体运动时，流体中任一位置的压强、流速等运动要素不随时间变化的流动称为恒定流动。

(2) 非恒定流：流体运动时，流体中任一位置的运动要素如压强、流速等随时间变化而变动的流动称为非恒定流。

自然界中都是非恒定流，工程中可以取为恒定流。

3. 流线与迹线

(1) 流线：流体运动时，在流速场中可画出某时刻的一条空间曲线，它上面所有流体质点在该时刻的流速矢量都与这条曲线相切，这条曲线就称为该时刻的一条流线。

(2) 迹线：流体运动时，流体中某一个质点在连续时间内的运动轨迹称为迹线。

流线与迹线是两个完全不同的概念。非恒定流时流线与迹线不重合，在恒定流时流线与迹线重合。

4. 均匀流与非均匀流

(1) 均匀流：流体运动时，流线是平行直线的流动称为均匀流。如等截面长直管中的流动。

(2) 非均匀流：流体运动时，流线不是平行直线的流动称为非均匀流。如流体在收缩管、扩大管或弯管中流动等。它又可分为渐变流和急变流，流体运动中流线几乎近于平行直线的流动称为渐变流；流体运动中流线不能视为平行直线的流动称为急变流。

5. 元流、总流、过流断面、流量与断面平均流速

(1) 元流：流体运动时，在流体中取一微小面积 $d\omega$ ，在 $d\omega$ 面积上各点引出流线并形成了一股流束称为元流。在元流内的流体不会流到元流外面；在元流外面的流体也不会流进元流中。由于 $d\omega$ 很小，可以认为 $d\omega$ 上各点的运动要素（压强与流速）相等。

(2) 总流：流体运动时，无数元流的总和称为总流。

(3) 过流断面：流体运动时，与元流或总流全部流线正交的横断面称为过流断面。用 $d\omega$ 或 ω 表示，单位为 m^2 或 cm^2 。均匀流的过流断面为平面，渐变流的过流断面可视为平面；非均匀流的过流断面为曲面。

(4) 流量：流体运动时，单位时间内通过过流断面的流体体积称为体积流量，用符号 Q 表示，单位是 m^3/s 或 L/s 。

(5) 断面平均流速：流体流动时，断面各点流速一般不易确定，当工程中又无必要确定

时,可采用断面平均流速(v)简化流动。断面平均流速为断面上各点流速的平均值。

1.3.2 流体运动的基本方程

1. 恒定流连续性方程

连续性方程是由质量守恒定律得出的,质量守恒定律告诉我们,同一流体的质量在运动过程中既不能创生也不能消失,即流体运动到任何地方,其质量应该是保持不变的。

在恒定总流中任取一元流,应用质量守恒定律,流进 1—1 断面的质量必然等于流出 2—2 断面的质量。因此,质量流量连续性方程式为

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (1-9)$$

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 \quad (1-10)$$

式中: ρ ——密度, kg/m^3 ;

A ——总流的过流断面面积, m^2 ;

v ——总流的断面平均流速, m/s ;

Q ——流体流量, m^3/s 。

当流体不可压缩时,流体的密度不变,故

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1-11)$$

$$Q_1 = Q_2 \quad (1-12)$$

2. 恒定总流能量方程

能量既不能消失也不能创生,只能由一种形式转换成另一种形式,或从一个物体转移到另一个物体。而在转化和转移的过程中总和保持不变,流体的能量包括三种形式,即位能 Z 、压能 $\frac{p}{\gamma}$ 和动能 $\frac{v^2}{2g}$,三者之和为断面的单位重量液体具有的机械能。理想流体是指没有黏性(流动中没有摩擦阻力)的不可压缩流体。这种流体实际上并不存在,是一种假想的流体,但这种假想对解决工程实际问题具有重要意义。在理想流动的管段上取两个断面 1—1、2—2,两个断面的能量之和相等,即

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (1-13)$$

式中: Z_1, Z_2 ——分别为 1—1 断面、1—2 断面单位重量液体具有的位能;

$\frac{p_1}{\gamma}, \frac{p_2}{\gamma}$ ——分别为 1—1 断面、2—2 断面单位重量液体具有的压能;

$\frac{v_1^2}{2g}, \frac{v_2^2}{2g}$ ——分别为 1—1 断面、2—2 断面单位重量液体具有的动能。

通常称式(1-13)为伯努利方程式。

由于流体本身存在黏滞力以及管道壁面有一定的粗糙程度,所以实际流体在流动过程中要消耗一部分能量来克服这种流动阻力,会有能量损失,假设从 1—1 断面到 2—2 断面流动过程中能量损失为 h ,则实际流体流动的伯努利方程为

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h \quad (1-14)$$

1.3.3 流动阻力和水头损失

由于流体具有黏滞性及固体边界的不光滑,所以流体在流动过程中既受到存在于相对运动的各层界面间摩擦力的作用,又受到流体与固体边壁之间摩擦阻力的作用。同时固体边壁形状的变化也会对流体的流动产生阻力。为了克服上述流动阻力,必须消耗流体所具有的机械能,单位质量的流体流动中所消耗的机械能,称为能量损失或几何意义上的能量损失,即水头损失。

1. 沿程阻力和沿程水头损失

流体在长直管(或明渠)中流动,所受的摩擦阻力称为沿程阻力。为了克服沿程阻力而消耗的单位重量流体的机械能量,称为沿程水头损失 h_1 。沿程水头损失与管的长度、粗糙度及流速的平方成正比,而与管径成反比,通常采用达西-维斯巴赫公式计算,即

$$h_1 = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (1-15)$$

式中: λ ——沿程阻力系数;

L ——管长, m;

d ——管径, mm;

v ——平均流速, m/s;

g ——重力加速度, m/s^2 。

2. 局部阻力和局部水头损失

流体的边界在局部地区发生急剧变化时,比如断面变化处、转向处、分支或其他使流体流动情况改变时,迫使主流脱离边壁而形成漩涡,流体质点间产生剧烈碰撞,所形成的阻力称局部阻力。为克服局部阻力所引起的能量损失称为局部水头损失 h_j 。计算公式为

$$h_j = \xi \frac{v^2}{2g} \quad (1-16)$$

式中: ξ ——局部阻力系数;

v ——平均流速, m/s;

g ——重力加速度, m/s^2 。

流体在流动过程中的总损失应该等于各个管路系统所产生的所有沿程水头损失和局部水头损失之和。

思考题

1. 简述流体静水压强基本方程的形式。静止液体中压强分布与深度有什么关系?
2. 绝对压强、相对压强和真空度之间的相互关系是什么?
3. 流体运动的基本原理是什么? 如何进行分类?
4. 流体运动的基本方程是什么?
5. 什么是流动阻力和水头损失?
6. 什么是元流、总流? 什么是过流断面、流量和流速?

第2章

传热学基础知识

2.1 传热学基本概念

凡是有温差的地方,都会发生热量的转移,因此传热是一种普遍的现象,传热学正是研究热量传播规律的一门学科。按照物体中各点温度是否随时间变化,传热可分为稳定传热和非稳定传热。

1. 热

热是由物体外界温度不同,通过边界而传递的能量,是物体间通过分子运动传递的能量。给物体加热,实际就是增加使物体分子运动的能量,物体的温度将会升高;反之,使物体散热,减少分子运动的能量,物体的温度便会降低。

热的单位是 J(焦[耳]), $1\text{J}=1\text{N}\cdot\text{m}$ (或 0.24cal)。

热分为显热和潜热,以温度为特征的热称为显热。例如:每 1L 水,温度升高 $1\text{K}(1^\circ\text{C})$ 吸收的热量为 4200J ;降低 $1\text{K}(1^\circ\text{C})$ 放出的热量为 4200J 。以状态变化为特征的热称为潜热,也叫汽化热。例如:1L 100°C 的水蒸发为 100°C 蒸汽需要吸收 2260kJ 的热量。日常生活中水的蒸发过程,也是吸收的潜热。

2. 热力学温度

温度表示物体冷热的程度。热力学温度的单位为 K(开[尔文]),把水的三相点的温度,即水的固相、液相、气相平衡共存状态的温度作为单一基准点,并规定为 273.15K 。热力学温度 T 与摄氏温度 t 之间的关系为 $T=t+273.15$ 。

3. 热膨胀

物体受热,长度增长,体积增大,这是物质热力学能增加使分子间隔增大的结果。这种随温度升高而胀大的现象称为热膨胀。

(1) 线膨胀:物体的线膨胀是指温度升高后物体在长度方向的增长。每升高 1°C 时单位长度的伸长量称为线膨胀系数 α_1 。