

流体流型及临界雷诺数的测定

一、实验目的与要求

1. 观察流体在管内流动的两不同流型；
2. 测定临界雷诺数；
3. 掌握转子流量计的校正。

二、实验原理

实际流体在流过固体壁面时，由于流体对壁面有附着力，将在壁面上粘附一层静止的流体，这层流体的分子仅因扩散作用而运动。同时，实际流体分子间有吸引力；壁面上静止的流体层对其临近的流体层起约束作用，阻碍该层流体的流动，但离开壁面越远，则约束作用越小。因此，流体在流动时在靠近壁面范围内是流体层与层之间的相对运动。要使流体产生上述的相对运动，需要克服流体流动时的内摩擦力，也即需要克服一定的阻力。

此外，当流体流动激烈而呈紊流状态时，流体间产生大量涡旋和扰动，也消耗流动的能量，消耗的能量转化为热能而提高了流体的热力学能（内能）。

流体流动的阻力与流体的性质（如粘度等）、流体流动形态、导管的长度、管径、壁面情况以及流动时的变动状态（如缩小、扩张等）有关。

粘度—是流体内部摩擦力的表现，是流体的重要物性参数之一。流体的粘度越大，流体的流动性越小。

相邻的两层流体之间，层间的接触面积为 A ，层间距离为 δ ，为使层间产生相对运动 ω 时必须加上相应的剪切力 F 。实验证明，所应加予的力 F 与层间接触面积 A 和相对速度 ω 成正比，而与层间距离成反比，这一关系称为牛顿粘性定律，这类流体称为牛顿型流体。

$$F = \mu A \omega / \delta \qquad \tau = F / A = \mu \omega / \delta$$

μ —比例系数，即流体的粘度。各种流体有其本身的粘度，其值随外界条件而改变，单位为 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ；

τ —剪应力，单位 Pa 。

流体的粘度主要通过实验测定，大多数纯物质的粘度可以从手册和有关资料中查得。在这些资料中，粘度的单位常用泊（ p ）或厘泊（ cp ）表示。国际单

位制中，粘度的单位是 Pa.s (基本单位是 $\text{Kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)，是指相距为 1m，接触面积为 1m^2 的流体产生相对运动为 $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 所需的力 (N)。它与泊的换算关系为 $1\text{p}=0.1\text{Pa}\cdot\text{s}$

液体的粘度受压强的影响很小，但随温度的升高而显著降低。气体的粘度则随温度升高而增大，也随压力提高而有所增大。

服从牛顿粘性定律的流体称为牛顿型流体。不遵循牛顿粘性定律的成为非牛顿型流体，也称为非线性粘性流体。如钻探泥浆、纸浆、牙膏、生物类流体、油漆等。在此我们以牛顿型流体为主要学习内容。

流体充满导管作定态流动时有两种流动形态：滞流和湍流。

滞流也称为层流，其特征是：当流体在圆管中作滞流流动时，流体的质点作一层滑过一层的位移，层与层之间没有明显的干扰。各层间分子只因扩散而移动。流体的流速沿断面按抛物线分布；紧靠管壁的流体流速等于零，管中央的流速最大，管中流体的平均流速为最大流速的 $1/2$ 。

湍流也称紊流，其特征是：流体在流动时，流体的质点有剧烈的骚扰涡动，一层滑过一层的粘性流动情况基本消失，只是靠近管壁处还保留滞留的形态。湍流时，靠近管壁一定距离的流体流速逐步增大，接近管中央相当大范围内的流体流速接近于最大流速；管内流体的平均流速为管中央最大流速的 0.8 左右。

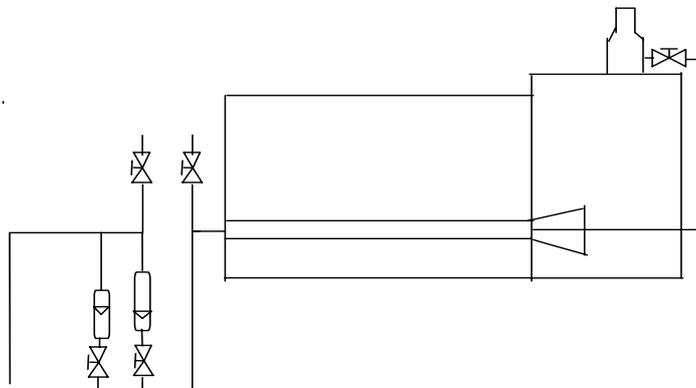
那么流体的流动到底是滞留还是湍流呢？雷诺做过一个实验找出了两者的界限，这就是雷诺实验。通过实验证明，流体的流动形态不仅与流体当时的平均流速 ω 有关，而且还与其他因素有关，如：流体的粘度 μ 、密度 ρ 和管径 d 。通过测试，可将这四个物理量归纳为一个无因次的复合数群，此类数群称为特征数： $R_e=d\omega\rho/\mu$ 。此特征数称为雷诺数，以 R_e 表示，由此数群可判别流体的流动形态。当 $R_e<2000$ 时，流体在平滑管内的流动形态属于明显的滞留； R_e 数大于 4000 时，流动形态属于明显的湍流； $2000<R_e<4000$ 的范围内，流动形态是从滞留转变为湍流的过渡状态，与管壁的粗糙程度有关。管壁粗糙促进流体扰动，使流体形态易于从滞留过渡成湍流。

对于一定温度的流体，在特定的圆管内流动时，即 d, ρ, μ 已确定，则 R_e 仅与 ω 有关，本实验就是改变水在管内的流动速度，得到不同的 R_e 值，结合所观察到的流型，找到临界 R_e 。对于水，临界 $R_e = 2300$ 。

如何找出流型

1. 滞留：直线；
2. 湍流：抖动的直线或看不到线。

三、实验设备与装置



四、实验步骤

1. 加水（补水），排气
2. 控制稳压溢留水槽的溢流量，保持恒位
3. 测量水温
4. 打开阀门，调节针型阀的注入红色水流速度
5. 调节流量至能观察到一条平直的红色细流为止（从中心到中心）
6. 增大调节阀的开度，直至实验导管内直线流动的红色细流开始发生波动，记下水的流量，计算临界 ω ，以求算 R_e
7. 如此反复进行至少三次，以便取得较为准确的实验数据
8. 校正流量

五、实验数据处理

1. 以 8 所得到的四组数据做工作曲线（坐标纸上画）
2. 找出实际流量 $q_{\text{实}}$ ，计算 R_e