

# 化工原理多媒体教学

## Unit Operation CAI

西北大学化工学院化工原理教学组

# 第一章 流体流动







流体流动是最普遍的化工单元操作之一；  
研究流体流动问题也是研究其它化工单元操作的重要基础。原因是：

- 1、化工生产中所涉及的物料及产品中以流体占大多数
- 2、流体流动规律是传热、传质以及化学反应过程的基础

本章着重讨论有关流体流动过程的基本原理及流体在管内的流动规律。



# 第一节 概 述

## 一、流体流动的考察方法

流体：无固定形状且易于流动的物体，是气体与液体的总称。

### 1、连续性假定

认为流体是由大量分子组成的质点（分子团）组成的彼此间没有空隙，完全充满所占空间的连续性介质。质点：一个含有大量分子的流体微团，其尺寸小于设备尺寸但远大于分子自由程。

**特点：流体在运动时，各质点可改变其相对位置**



## 2、运动的描述方法—拉格朗日法和欧拉法

①**拉格朗日法**：选定一个流体质点，对其进行跟踪观察，描述运动参数与时间的关系，也称跟踪法。

②**欧拉法**：在固定空间位置上观察流体质点的运动情况。直接描述各有关运动参数在指定空间各点的分布情况随时间的变化，也称站岗法。

对于速度 $u$

$$u_x = f_x(x, y, z, t)$$

$x, y, z$ —位置坐标

$$u_y = f_y(x, y, z, t)$$

$t$ —时间

$$u_z = f_z(x, y, z, t)$$

$u$ —指定点的速度



### 3、定态流动（定常流动，稳定流动）

定态流动：运动空间的各点的状态不随时间而变化。

对速度：

$$u_x = f_x(x, y, z)$$

$$u_y = f_y(x, y, z)$$

$$u_z = f_z(x, y, z)$$

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial u_y}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial u_z}{\partial t} = 0$$



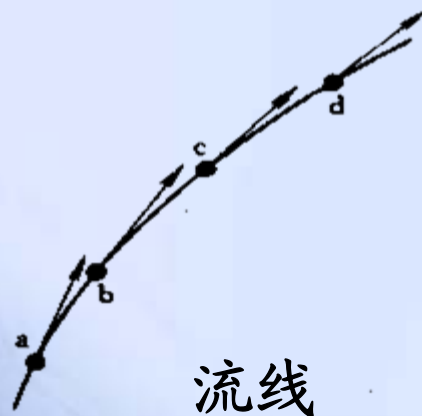


## 4、流线和轨线

轨线：（轨迹）同一流体质点在不同时刻所占空间位置的连线。拉格朗日法考察流体运动的结果。

流线：同一瞬时不同质点的速度方向欧拉法考察的结果。

特点：定态流动时，流线和轨线重合；各流线不会相交。



## 5、系统与控制体

系统：（物系）包含大量流体质点的集合。系统与外界可以有力的作用与能量的交换，但没有质量交换。**拉格朗日法考察流体运动的。**

控制体：划定一固定的空间体积来考察问题，该空间体积称为控制体。构成控制体的空间界面成为控制面。**欧拉法考察流体的。**

## 6、考察方法的选择

对流体流动多采用**欧拉法**





## 二、流体流动中的作用力

### 1、体积力

作用于流体的每一个质点上，并与流体的质量成正比，对于均质流体也与流体的体积成正比。例如：重力、离心力、弹力、浮力等。

### 2、表面力——压力和剪力

作用在所研究流体的表面且与表面积成正比的力，与流体的质量无关。

**压力**—垂直作用在表面上

**剪力**—平行作用在表面上（切力）

**压强**—单位面积上所受到的压力

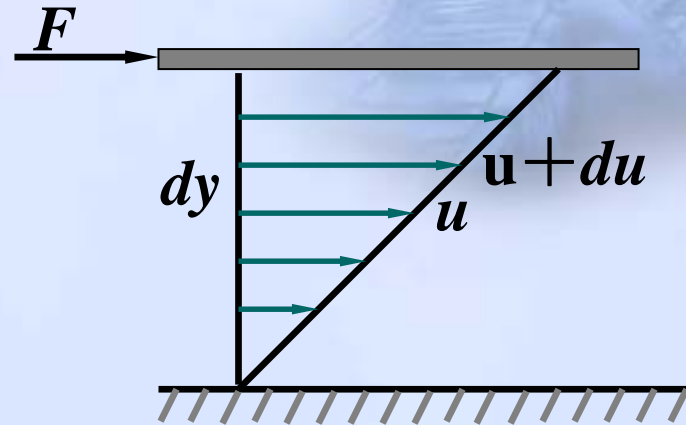
**剪应力**—单位面积上所受到的剪力



### 3、牛顿粘性定律

$$F = \mu A \frac{d\dot{u}}{dy} \quad \text{或}$$

$$\tau = \mu \frac{d\dot{u}}{dy}$$



式中： $F$ ——内摩擦力，N；

$\tau$  ——剪应力，Pa；

$\frac{d\dot{u}}{dy}$  ——法向速度梯度，1/s；

$\mu$  ——比例系数，称为流体的**粘度**， $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$   
或 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。



## 4、流体的粘度（动力粘度）

### 1) 粘度的物理意义

流体流动时在与流动方向垂直的方向上产生单位速度梯度所需的剪应力。

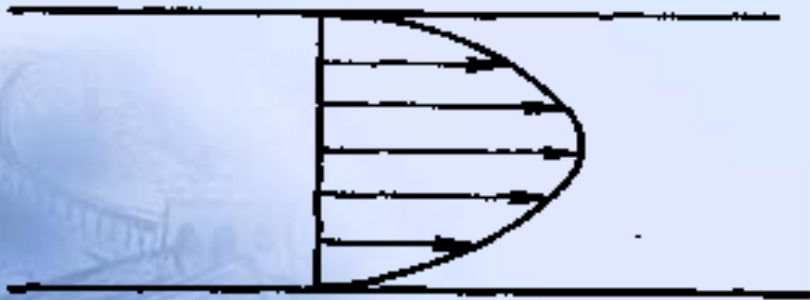


图 1-4 粘性流体在管内的速度分布

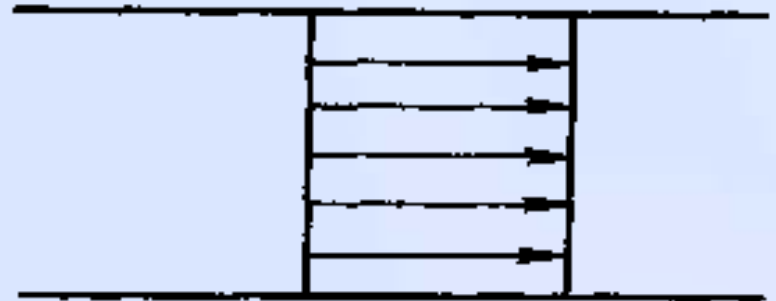


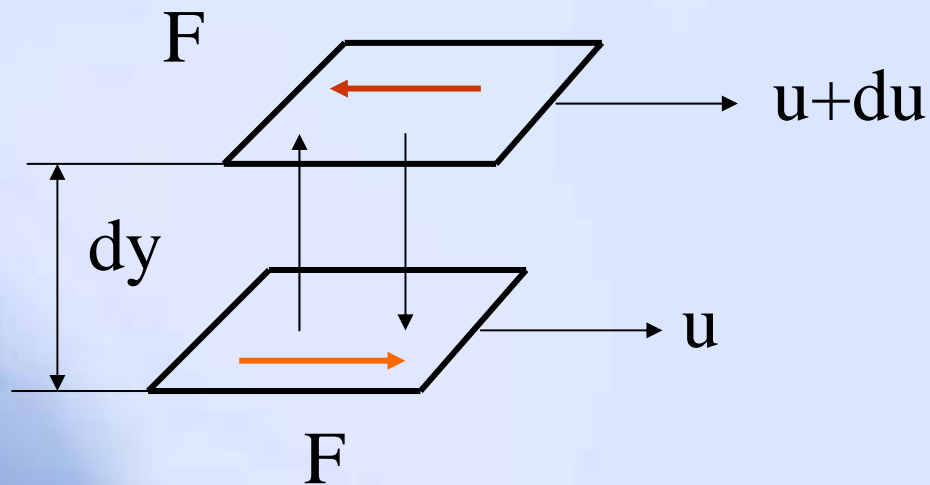
图 1-5 理想流体在管内的速度分布

**理想流体：** 流体无粘性  $\mu = 0$ ，速度分布如图1-5



## 2) 粘度的物理本质:

分子间的引力和分子运动与碰撞。宏观上是作用力与反作用力的结果。



结论：粘性就是分子微观运动的宏观表现





$$\mu = f(p, T)$$

液体：  $\mu = f(T)$      $T \uparrow \rightarrow \mu \downarrow$  ,  $\mu_l \gg \mu_g$

气体： 一般  $\mu = f(T)$      $T \uparrow \rightarrow \mu \uparrow$

超高压：  $\mu = f(p, T)$      $p \uparrow \rightarrow \mu \uparrow$

### 3) 粘度的单位

SI制： Pa·s 或 kg/(m·s)

物理制： cP(厘泊)

换算关系

$$1\text{cP} = 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

### 4) 运动粘度

粘度  $\mu$  与密度  $\rho$  的之比。     $\nu = \frac{\mu}{\rho}$      $\text{m}^2/\text{s}$



牛顿型流体：剪应力与速度梯度的关系符合牛顿粘性定律的流体；

非牛顿型流体：不符合牛顿粘性定律的流体。

### 三、流体流动中的机械能

能量=内能+机械能

内能：储存与物质内部的机械能，内能由流体本身的状态决定。

机械能=位能+动能+压强能

由于粘性的存在，流体流动过程中产生机械能损失：

总机械能=位能+动能+压强能+能量损失

