


流體的性質



單元學習內容

- 流體的種類
- 流體的密度
- 流體的黏度

流體的種類

- 可壓縮流體(氣體)：氣體受到壓力時，體積變化很大
- 不可壓縮流體(液體)：液體受壓力時，體積變化很小

流體的密度--- 1

- 液體的體積受溫度及壓力的變化很小，所以密度為定值。

$$\rho = \text{const.}$$

流體的密度--- 2

- 氣體的體積與壓力成反比，與溫度成正比：

$$PV = nRT$$

- 理想氣體的密度可由理想氣體方程式求得：

$$PM = \rho RT$$

流體的密度--- 3

- 流體的密度由比重推求。
 - 液體的密度 = 比重 \times 4°C 水的密度
= 比重 \times **$1000\text{kg}/\text{m}^3$**
 - 氣體的密度 = 比重 \times 0°C , **1atm**
的空氣密度
= 比重 \times **$1.29\text{ kg}/\text{m}^3$**

流體密度的計算

- 內徑**200mm**的圓管用於輸送**CO₂**氣體，氣體的溫度為**100°C**，壓力為**101.3 kPa**，質量流率為**0.12 kg/s**，求氣體的體積流率(**m³/s**)為何？

流體密度的計算解

$$\rho = \frac{PM}{RT} = \frac{101.3 \times 10^3 \times 44}{8314 \times (273 + 100)} = 1.437 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0.12}{1.437} = 0.0835 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\bar{u} = \frac{\dot{V}}{\frac{\pi}{4} D^2} = \frac{0.0835}{\frac{\pi}{4} \times (0.2)^2} = 2.66 \text{ m} / \text{s}$$

流體的黏度

- 定義：牛頓流體中剪應力與速度梯度成正比，其比例常數稱之

- 表示法

$$\tau_{yx} = -\mu \frac{du_y}{dx}$$

牛頓流體

- 牛頓流體---定溫定壓下剪應力與速度梯度所作用的圖形中，通過原點的直線，依循此種線性關係的流體稱之。

黏度的單位

■ 單位

- **SI制** : $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 或 $\text{Kg}/\text{m}\cdot\text{s}$
- **CGS制** : $\text{g}/\text{cm}\cdot\text{s}$ (又稱為泊, poise , p)
- **MKS制** : $\text{Kg}/\text{m}\cdot\text{s}$
- **英制** : $\text{lb}/\text{ft}\cdot\text{s}$

黏度的因次

■ 因次

- 絕對系統： $\text{ML}^{-1}\theta^{-1}$
- 工程系統： $\text{FL}^{-2}\theta$

黏度的單位換算

- **1厘泊 (centipoise, cp)**
 - = 10^{-2} P**
 - = 10^{-3} Kg/m·s**
 - = 10^{-3} N·s/m²**
 - = 6.72×10^{-4} lb/ft·s**

黏度的性質--- 1

■ 與分子間引力的關係

➤ 黏度大的流體在管內流動較緩慢

引力	流體的黏度
小	小
大	大

黏度的性質--- 2

■ 與溫度的關係

■ 一般來說：液體黏度 > 氣體黏度

溫 度	液體黏度	氣體黏度
上 升	減 少	增 加

黏度的性質---3

■ 常溫下

➤ 水的黏度 = **1cp**

➤ 空氣的黏度 = **0.02cp**

黏度的性質—動黏度

■ 動黏度 (kinematic viscosity)

- 定義：流體的黏度與密度的比值
- 表示法：

$$\text{動黏度} = \frac{\text{流體的黏度}}{\text{流體的密度}}$$

$$\text{即 } \nu = \frac{\mu}{\rho}$$

黏度的性質—動黏度

■ 動黏度

➤ 單位：史托克 (**stoke**) = **cm²/s**

➤ 因次：**L²θ⁻¹**

黏度的性質—比黏度

■ 比黏度 (**specific viscosity**)

➤ 定義：流體的黏度與室溫下水的黏度的比值

➤ 單位：無因次群

黏度的測量

- 毛細管法（帕醉法）
- 落球法（**falling-ball method**）

帕醉法 (poiseuille method)

- 測定法：測量定體積的液體，通過已知長度及半徑的毛細管所需時間，再由帕醉方程式計算該液體的黏度



帕醉方程式 (poiseuille equation)

$$\mu = \frac{\Delta P \pi r^4 t}{8VL}$$

帕醉方程式的例題

- 有一體積**5mL**的液體，流過半徑**0.1cm**，長度**100cm**的毛細管，需要**60sec**，毛細管兩端壓力差為**100mmHg**，則該液體的黏度為多少厘泊？

帕醉方程式的例題解

$$\Delta P = 100\text{mmHg} \times \frac{1\text{atm}}{760\text{mmHg}} \times \frac{1.013 \times 10^6 \text{ dyne} / \text{cm}^2}{1\text{atm}}$$
$$= 1.33 \times 10^5 \text{ dyne} / \text{cm}^2$$

$$\mu = \frac{1.33 \times 10^5 \times \pi \times (0.1)^4 \times 60}{8 \times 5 \times 100} = 0.628 \text{ g} / \text{cm} \cdot \text{s} = 62.8 \text{ cp}$$

落球法原理-1

- 史托克定律(**stoke law**):
固體粒子在流體中自由下降時，此固體粒子受到向下重力 F_1 ，向上浮力 F_2 及流體對固體的阻力 F_3 所影響。

落球法原理-2

當達力平衡時 $F_1 = F_2 + F_3$

即

$$\frac{4}{3} \pi r_p^3 \rho_s g = \frac{4}{3} \pi r_p^3 \rho g + 6 \pi r_p \mu u_t$$

故

$$\mu = \frac{2r_p^2(\rho_s - \rho)g}{9u_t} = \frac{D_p^2(\rho_s - \rho)g}{18u_t}$$

說明：

一般不直接測量液體的黏度，而是測量液體與水的黏度比值，藉由比值由已知水的黏度算出待測液體的黏度

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{\rho_2 t_2}{\rho_1 t_1}$$

落球黏度計的計算

- 有一半徑為 0.1cm ，密度為 $8\text{g}/\text{cm}^3$ 的鋼球，在一密度為 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 的液體中以 $100\text{cm}/\text{s}$ 的速度自由落下，求此液體的黏度為多少 cp ?

落球黏度計的計算解

$$\mu = \frac{2 \times (0.1)^2 (8 - 1.2) \times 980}{9 \times 100} = 0.148 p = 14.8 cp$$

利用黏度比值的計算

有一鋼球密度為 8g/cm^3 ，在密度為 1g/cm^3 ，黏度為 1cp 的水中降落 1m 需要 100s ，同一鋼球在密度為 1.2g/cm^3 的某液體中降落同一距離需要 60s ，則該液體的黏度為多少 cp ？

利用黏度比值的計算解

$$\frac{\mu_2}{1} = \frac{(8-1.2) \times 60}{(8-1) \times 100}$$

$$\therefore \mu_2 = 0.58 \text{cp}$$