

流體機械講義

第一回

501030-1



社團
法人
考試
法

考友社

出版
發行

第一講 流體的性質與壓力

◎ 命題重點 ◎

壹、流體

流體力學(fluid mechanics)是一門研究流體處於靜止或者運動時之行爲的科學。而所謂的流體(fluid)是一具有質量而無固定形狀的物體。大家都知道，所有的物質或材料均以三種物理型態或相存在，即固體，液體和氣體，而氣體和液體即符合流體之定義。

在實用上，氣體和液體雖均稱爲流體，但兩者之間仍有差別的。通常我們稱液體是不可壓縮的(incompressible)，意指不論施加多大的壓力，液體之密度均爲常數，除非在特殊情況時壓力非常大，否則在計算時不會有太大的誤差。

氣體通常是可壓縮的(compressible)，也就是說氣體在施加壓力後通常都會使密度改變，當壓力有著明顯變化時，就必須藉助熱力學原理來處理，才會得到正確的結果。也正因爲如此，有時我們也會將氣體看成是不可壓縮的，那麼經由計算後也可以快速地得到一粗略的解答，答案雖不準確但在實用上這些誤差仍是接受的。例如，當空氣的流動速度在 $100 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ 以下時，假設其爲不可壓縮流體所解出的答案，所產生的誤差通常會小到可以接受。

貳、因次與單位

工程上的題目在解答出某一特定問題的答案時，一定是包括單位的。譬如求某一軸之直徑時，如果答案是10，那麼10公分，10公尺或10英呎，10英吋當然是不同的，所以我們在此將單位與因次作一扼要的複習以避免大家犯錯。

通常我們將因次系統分成兩大類——基本量和導出量。通常基本量是由人類規定出來的，例如1公尺是多長即是人類自行訂定的。而

導出量通常是由兩個以上的基本量組合而成的，所在因次系統中先有基本量後，再經由某些公式或定義來訂定出導出量。

在流體力學中，常用的因次有力(F)，長度(L)，質量(M)，時間(t)和溫度(T)。但是我們由牛頓第二定律($F = M \cdot a$)中得知，力和質量不能同時都當作基本量，所以在一般因次系統中，都是將長度和時間當作基本量，而在質量和力二者之間，擇一作為基本量而另一則視為導出量，但是也有人將力和質量均視為基本量的，因此我們有了三種基本的因次系統，其基本量分別為：

1. 質量(M)，長度(L)，時間(t)，溫度(T)。
2. 力(F)，長度(L)，時間(t)，溫度(T)。
3. 力(F)，質量(M)，長度(L)，時間(t)，溫度(T)。

其單位分別如下：

(一)MLtT制：

是大多數工業化國家採用之標準化國際單位制(International System of Units)或稱SI制，亦或米制(metric system)。在此系統中，質量單位為仟克(kg)，長度單位為公尺(m)，時間單位用秒(sec)，而溫度用 $^{\circ}\text{K}$ ，力為導出因次，單位用牛頓(N)，因此由牛頓定律得：

$$1 N = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{sec}^2$$

在公制系統中，質量用克(g)，長度用公分(cm)，時間用秒(sec)，溫度用 $^{\circ}\text{K}$ ，則力之單位為達因(dyne)，即

$$1 \text{ dyne} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}/\text{sec}^2$$

(二)FLtT制：

在英制系統中，力之單位為磅(lbf)，長度單位用呎(ft)，時間單位為秒(sec)，而溫度單位為 $^{\circ}\text{R}$ 。質量為導出因次，其單位為斯拉格(slug)，由牛頓定律得

$$1 \text{ slug} = 1 \text{ lbf} \cdot \text{sec}^2/\text{ft}$$

(三)FMLtT制：

在英制中，力之單位用磅(ℓbf)，質量位亦用磅(ℓbm)，長度單位用呎(ft)，時間單位為秒(sec)，溫度單位用 $^{\circ}\text{R}$ ，由於力和質量均訂為基本因次，所以牛頓定律只好變成

$$F = \frac{ma}{g_c}$$

1 磅力(1 ℓbf)可使 1 磅質量(1 ℓfm)產生一地球上的標準重力加速度 ($32.17\text{ft}/\text{sec}^2$)，故

$$1 \ell\text{bf} = \frac{1\ell\text{bm} \times 32.2\text{ft}/\text{sec}^2}{g_c}$$

$$\therefore g_c = 32.2\text{ft} \cdot \ell\text{bm}/\ell\text{bf} \cdot \text{sec}^2$$

因而產生了一有單位的比例常數 g_c ，這是因為力和質量均選為基本量之結果。

若將FLtT制中之斯拉格和FMLtT制中的質量磅(ℓfm)作一比較可知：

$$1\text{s}\ell\text{ug} = 32.2\ell\text{bm}$$

事實上在某些舊的公制系統中亦有此種情形，它是將力和質量之單位均定為仟克(kg)，即 1kgf 之力可使 1 kg 質量之物體產生 $9.8\text{m}/\text{sec}^2$ 之加速度。如果和MLtT制中之牛頓相比，則

$$1\text{kgf}\text{-力} = 9.8\text{牛頓}$$

參、流體基本性質的定義

一、密度

密度(density)即單位體積所具有的質量。通常用希臘字母 ρ (rho)表示之，它是由物質之質量(m)除以它的體積(V)而得，以公式表示即

$$\rho = \frac{m}{V}$$

其單位為slug/ft³或kg/m³。

二、比重量

比重量(specific weight)為物質單位體積所具有的重量。通常以希臘字母 γ (gamma)表示之，它是由物質之重量(W)除以它的體積(V)而得，即

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

其單位通常是lb/ft³或N/m³，在舊制中亦有用kgf/m³表示。

密度和比重量二者之間，由牛頓定律可得出其關係為

$$\gamma = \rho g$$

在標準大氣壓及溫度4°C的情況下，水之比重量為62.4lb/ft³或9.81 kN/m³。而密度為1.94 slug/ft³或1000kg/m³。

三、比容

比容(specific volume)為單位重量的物質所具有的體積。通常用 v 表示之，它是由物質之體積(V)除以它的重量(W)而得，即

$$v = \frac{V}{W}$$

由式(1-2)可得

$$v = \frac{1}{\gamma}$$

其單位通常為ft³/lb或m³/N亦或m³/kgf。

四、比重

比重(specific gravity)為任何物質之質量或重量與同體積標準物質之質量或重量的比值。此一標準物質若無特別聲明，係指在一標準大氣壓下4°C之純水。通常以符號 s 表示之。其式如下：

$$s = \frac{\gamma}{\gamma_w} = \frac{\rho}{\rho_w}$$

式中， γ 或 ρ 表該物質在某一狀況下之比重量和密度，而 γ_w 和 ρ_w 表在一標準大氣壓及4°C之純水的比重量和密度。要注意的是，比重是一無因次的量。

肆、黏滯性

我們已知流體是一可以流動的物質，但經由觀察可以發現，各種不同的流體之間流動性的好壞不大相同，在同樣的狀況下，有些流體流動快，有些則流動慢，其間之差異，則在於每一流體之黏滯性(viscosity)不同。

如果我們施加剪力於流體的相鄰質點上，那麼此流體的質點即會發生連續不斷的變形，此即為流動。不易流動的流體，我們就說它較“黏”，亦即它對剪力的抵抗力較大而不易發生變形。因此，所謂黏滯性即流體對剪力之阻力。

圖1-1可以表示出黏滯性的觀念。有一薄層流體密封於距離為 h 的兩平行板間，下板保持固定而上板以等速度 U 運動，由於流體黏性的作用，流體會附著在上，下兩平板上，因此流體之下層表面之速度與下板相同為零，而上層表面之速度與上板之速度相同為 U ，兩板之間的速度分佈必如圖1-1所示呈線性分佈。所以距離下板 y 處之流體速度 u 可以下式表示：

$$\frac{u}{h} = \frac{U}{y}$$

此外，若欲使上板以等速 U 運動，必須施加一力 F ，由實驗得知，所施之力 F 和平板面積 A 及速度 U 成正比，和兩板間之距離 h 成反比，即

$$F \propto \frac{AU}{h}$$

在切線方向上的單位面積力 F/A 即為剪刀 τ ，代入上式後，得

精選試題

一. 苯($\gamma = 8.62\text{kN/m}^3$)流經一直徑100 mm之管，其平均速率為3.00 m/s，求其

(1)體積流率。分別以 m^3/s ，及L/min表示之。

(2)重量流率。

(3)質量流率。

解：(1) 由式2-3：

$$\begin{aligned} Q &= AV \\ &= \frac{\pi(0.1\text{m})^2}{4} \cdot 3.00 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ &= 0.0236\text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\text{又 } 1 \text{ L/min} = 1.667 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} \therefore Q &= \left(0.0236 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \left(\frac{1 \text{ L/min}}{1.667 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}}\right) \\ &= 1416 \text{L/min} \end{aligned}$$

(2) 由式2-2：

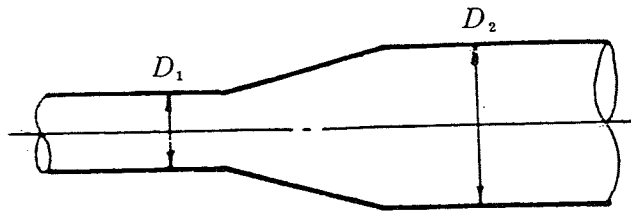
$$\begin{aligned} W &= \gamma AV = \gamma \cdot Q \\ W &= \left(8.62 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right) \left(0.0236 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \\ &= 0.203 \text{kN/s} \end{aligned}$$

(3) 由式2-1：

$$M = \rho AV = \frac{W}{g}$$

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{0.203 \text{ kN/s}}{9.8 \text{ m/s}^2} \\
 &= 20.7 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

- 二. 管路系統在斷面1時之速度為3 m/sec，直徑為20 mm，斷面2的直徑為40 mm，假設此流動為穩流不可壓縮性流體，求流量 Q 及 V_2 。



圖

$$\text{解： } Q = A_1 V_1 = \frac{\pi}{4} (0.02)^2 \times 3 = 9.42 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{9.42 \times 10^{-4}}{\frac{\pi}{4} \times (0.04)^2} = 0.75 \text{ m/s}$$

- 三. 試求圖中經容器小孔流出的水速及流量。

解： 由式2-10

$$\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

p_1 與 p_2 均與大氣接觸，因此 $p_1 = p_2 = p_a = 0$ 。