

差壓式流量計

單元學習內容

- ➡ 孔口流量計 (Orifice meter)
- ➡ 文氏流量計 (Venturi meter)
- ➡ 皮托管 (Pitot tube)
- ➡ 噴嘴 (Nozzle)

何謂差壓式流量計

➡ 流體通過一收縮口，測量其壓力變化，而推算流體流率的流量計。

差壓式流量計的原理

➡ 機械能方程式

$$\frac{u_2^2 - u_1^2}{2g_c} + \frac{g(Z_2 - Z_1)}{g_c} + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + h = -W_s$$

➡ 流體流經縮口時，因速度變快，壓力會變小而產生壓力差。

孔口流量計構造-1

➡ 孔口板的厚度約為
1/16in~1/4in。

➡ 孔口板的直徑約為
圓管直徑的**0.3~0.8**
倍。

孔口流量計構造-2

- ➡ 一圓形薄片以凸緣固定於管路中，孔口板的前後各裝上一U型壓力計連接。
- ➡ 靠近流體的部份切成直角，其餘部份切成斜角或偏位，以減少摩擦。

孔口流量計的公式-1

➡ 流體流經孔口的平均速度

$$u_0 = C_0 \sqrt{\frac{2g_c(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} = C_0 \sqrt{\frac{2g(\rho_m - \rho)R_m}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

➡ 當 $Re_0 > 20000$ 時， $C_0 = 0.61$

孔口流量計的公式-2

➔ 流體的體積流率

$$\begin{aligned}\dot{V} &= A_0 C_0 \sqrt{\frac{2g_c(-\Delta P)}{\rho(1-\beta^4)}} \\ &= \frac{\pi}{4} D^2 C_0 \sqrt{\frac{2g(\rho_m - \rho)R_m}{\rho(1-\beta^4)}}\end{aligned}$$

孔口流量計的公式-3

➔ 流體的質量流率

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \rho \dot{V} = \rho A_0 C_0 \sqrt{\frac{2g_c(-\Delta P)}{\rho(1-\beta^4)}} \\ &= \frac{\pi}{4} D^2 C_0 \sqrt{\frac{2g\rho(\rho_m - \rho)R_m}{(1-\beta^4)}}\end{aligned}$$

孔口流量計的計算

➔ 油在管徑為0.1541m的管子中流動，已知油的密度為 878kg/m^3 ，黏度為4.1 cp，為了測流量，在管路中加裝一個孔徑為0.0566m的孔口板，流量計所接U形管的液體為汞，其密度為 13600kg/m^3 ，水的液柱差為20 cm，求油的體積流率為多少 m^3/s ？

孔口流量計的計算解

➔ 假設 $Re > 5 \times 10^4$ ，則 $C_0 = 0.61$

$$\beta = \frac{0.0566}{0.1541} = 0.368$$

$$R_m = 20\text{cm} = 0.2\text{m}$$

$$V = 0.61 \times \frac{\pi}{4} \times (0.0566)^2 \sqrt{\frac{2 \times 9.8 (13600 - 878) \times 0.2}{878 (1 - 0.368^4)}}$$

$$\mathbf{V = 0.0115\text{m}^3/\text{s}}$$

C_0 值的假設驗算

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{4 v \rho}{\pi D \mu} \\ &= \frac{4 \times 0.0115 \times 878}{\pi \times 0.0566 \times 4.1 \times 10^{-3}} \\ &= 5.55 \times 10^4 > 5 \times 10^4 \end{aligned}$$

故 $C_0=0.61$ ，假設正確

孔口流量計的優點

- ➔ 構造簡單
- ➔ 測量範圍廣
- ➔ 佔地小
- ➔ 安裝容易
- ➔ 價格便宜

孔口流量計的缺點

➡ 動力損失大

➡ 準確度較低

文氏流量計的構造-1

- ➡ 又名細腰流量計
- ➡ 分為三部分：收斂部、喉口以及發散部

文氏流量計的構造-2

收斂部	<ul style="list-style-type: none">◆ 將壓力势能轉變為速度势能◆ 收縮角不超過25°
喉口	<ul style="list-style-type: none">◆ 速度最大壓力降最小
發散部	<ul style="list-style-type: none">◆ 將喉口流過來的速度势能轉變為壓力势能使壓力恢復◆ 發散部不大於7°

文氏計的測量公式-1

➔ 流體流經喉口的平均速度

$$u_2 = C_v \sqrt{\frac{2g_c(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} = C_v \sqrt{\frac{2g(\rho_m - \rho)R_m}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

➔ 當 $Re > 10000$ 時， $C_v = 0.98$

文氏計的測量公式-2

➔ 流體流經喉口的平均速度

$$u_2 = C_v \sqrt{\frac{2g_c(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$
$$= C_v \sqrt{\frac{2g(\rho_m - \rho)R_m}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

文氏計的測量公式-3

➔ 流體流經喉口的體積流率

$$\begin{aligned}\dot{V} &= A_v C_v \sqrt{\frac{2g_c(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} \\ &= \frac{\pi}{4} d^2 C_v \sqrt{\frac{2g(\rho_m - \rho)R_m}{\rho(1 - \beta^4)}}\end{aligned}$$

文氏計的測量公式-4

➔ 流體流經喉口的質量流率

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \rho \dot{V} = \rho A_v C_v \sqrt{\frac{2g_c(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} \\ &= \frac{\pi}{4} d^2 C_v \sqrt{\frac{2\rho g(\rho_m - \rho)R_m}{1 - \beta^4}}\end{aligned}$$

細腰流量計的計算

➔ 直徑100mm的直管，用於輸送常溫的水，管上接一細腰流量計，其喉部的直徑為50mm，流量計的壓力差以一U形管壓力計來測量，U形管的指示液體為水銀，求壓力計的讀數為60mm時，水的體積流率為多少 m^3/s ？已知 C_v 為0.62

細腰流量計的計算解

$$\begin{aligned}\dot{V} &= \frac{\pi}{4} d^2 C_V \sqrt{\frac{2g(\rho_m - \rho)R_m}{\rho(1 - \beta^4)}} \\ &= \frac{\pi}{4} \left(\frac{50}{1000}\right)^2 \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.8 \times (13.6 - 1) \times 10^3 \times 0.06}{10^3 \times \left(1 - \left(\frac{50}{100}\right)^4\right)}} \\ &= 0.00468 \text{m}^3 / \text{s}\end{aligned}$$

細腰流量計的優點

- ➡ 精確度高
- ➡ 動力損失小

細腰流量計的缺點

- ➡ 價格貴
- ➡ 佔空間
- ➡ 測量範圍固定

皮托管的構造

- ➔ 皮托管為一倒L形之同心套管組成。
- ➔ 內外管分別接到一支U形管壓力計的兩端。
- ➔ 一般用來測量管子內某一點。

皮托管的測量

- ➔ 外管管壁沿管周圍鑽有許多小孔，是為了量度和流體流動方向平行之壓力，即靜壓力（Static pressure）。
- ➔ 正對流體流動方向之開口，是為了量衝擊壓力（Impact pressure）之用。
- ➔ 兩管分別接在差壓計上，即靜壓與動壓之差可以差壓計之讀數來決定。

皮托管的原理

➔ 由伯努力方程式而來

$$\frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \cancel{\Sigma F}$$

➔ 可得點速度為

$$u_1 = C \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}} = C \sqrt{\frac{2g(\rho_m - \rho)\Delta h}{\rho}}$$

皮托管測流體的最大速度

➡ 管中心的速度為流體的最大速度

$$u_{\max} = C \sqrt{\frac{2g(\rho_m - \rho)\Delta h_{\max}}{\rho}}$$

➡ 通常 $c=0.98\sim 1.0$

皮托管如何測量平均速度

➡ 依據截面積上的速度分佈換算
平均速度

➡ 測量管中心速度

➤ 層流時

$$\frac{\bar{u}}{u_{\max}} = \frac{1}{2}$$

➤ 湍流時

$$\frac{\bar{u}}{u_{\max}} = 0.82$$

皮托管的計算

➔ 比重 0.84，黏度 0.0336
lb/ft-s 的油由管徑 3in 的垂直管向下流，以裝有皮托管插在管中央測流量，若讀數為 12in，則油的流量為多少 ft^3/s ?

皮托管的計算解

➔ 油的最大流速為

$$u_{\max} = \sqrt{2gh\left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1\right)} = \sqrt{2 \times 32.2 \times \frac{12}{12} \times \left(\frac{1}{0.84} - 1\right)} = 3.5 \text{ ft/s}$$

➔ 油的平均流速為

$$\frac{\bar{u}}{u_{\max}} = \frac{1}{2} \Rightarrow \bar{u} = \frac{1}{2} \times 3.5 = 1.75 \text{ ft/s}$$

➔ 油的體積流率為

$$\dot{V} = \bar{u}A = 1.75 \times \frac{\pi}{4} (0.25)^2 = 0.086 \text{ ft}^3/\text{s}$$

皮托管的優點

➡ 無壓力損失

➡ 拆裝容易

➡ 安裝費便宜

➡ 適合大管徑的氣體管路流速
測定

皮托管的缺點

- ➔ 準確度差
- ➔ 對於含固體顆粒的液體會阻塞
- ➔ 對上游流體的擾動很敏感

噴嘴原理-1

➡ 流體流經嘴喉部時，流動區域的截面積縮小，使流速變大壓力降低，所造成的壓力降可由差壓計測得，再藉由機械能平衡方程式求得。

噴嘴原理-2

➔ 流體流經喉部的平均速度

$$\bar{u} = C \sqrt{\frac{2g_c(-\Delta P)}{\rho(1-\beta^4)}} = C \sqrt{\frac{2gh(\rho_m - \rho)}{\rho(1-\beta^4)}}$$

➔ **C=0.99**，當 **Re > 10000**

噴嘴原理-3

➡ 流體流經喉部的體積流率

$$\begin{aligned}\dot{V} &= A\bar{u} = \frac{\pi}{4} D^2 \times C \sqrt{\frac{2g_c(-\Delta P)}{\rho(1-\beta^4)}} \\ &= \frac{\pi}{4} D^2 \times C \sqrt{\frac{2gh(\rho_m - \rho)}{\rho(1-\beta^4)}}\end{aligned}$$

噴嘴原理-4

➡ 流體流經喉部的質量流率

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \rho \dot{V} = \frac{\pi}{4} D^2 \rho C \sqrt{\frac{2g_c(-\Delta P)}{\rho(1-\beta^4)}} \\ &= \frac{\pi}{4} D^2 C \sqrt{\frac{2g\rho h(\rho_m - \rho)}{(1-\beta^4)}}\end{aligned}$$

噴嘴適用範圍

➡ 用於孔口計、細腰流量計無法測量的高速流體的流量。