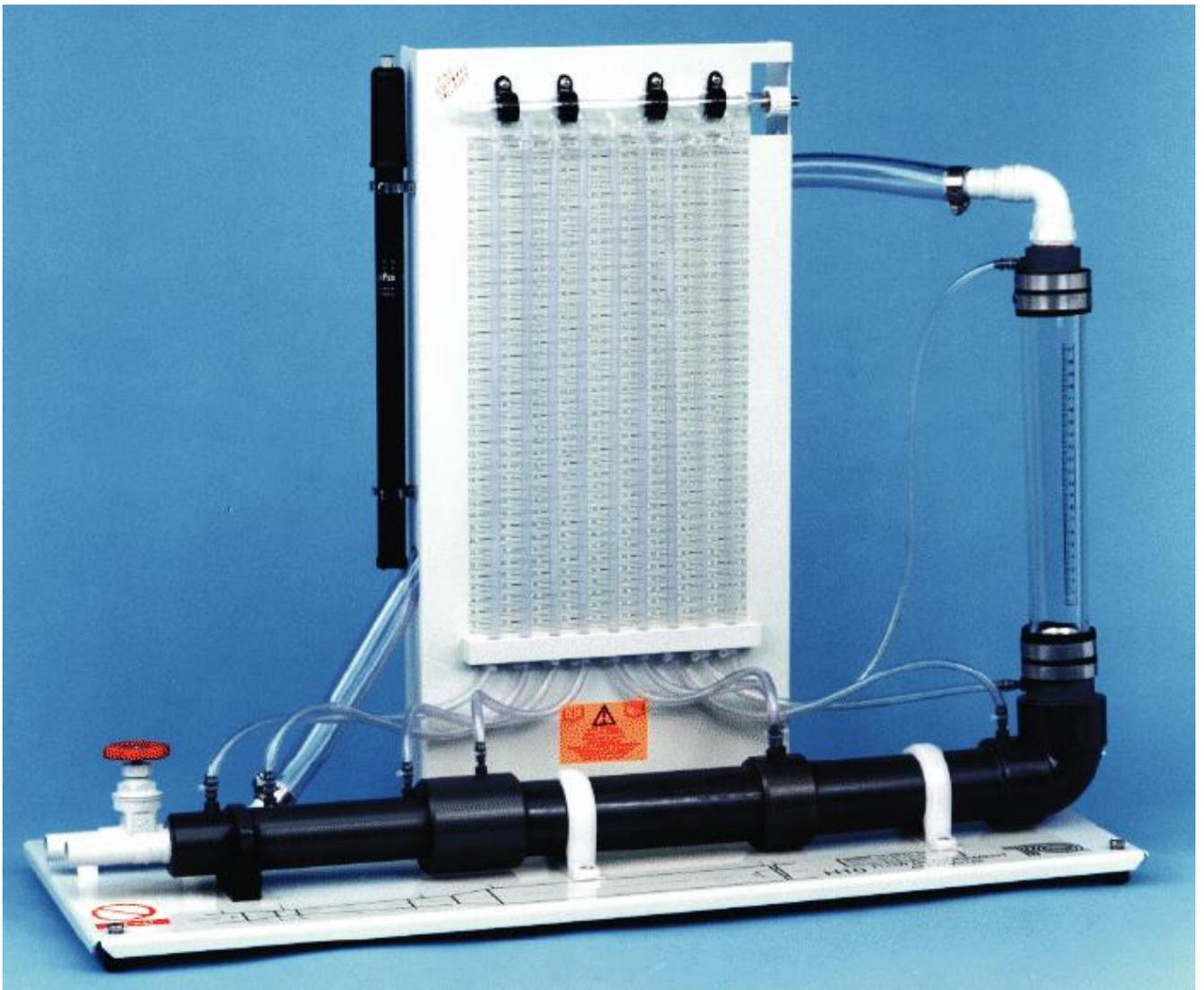


# 流量量測實驗設備

## 操作說明書



## 一、前言：

流量量測實驗設備提供文氏管、孔口板以及流量計等不同方式，透過穩流能量方程式與伯努利方程式計算出不可壓縮液體的流量。計算不同流量量測方式的水頭損失，計算並比較廣角擴管與 90°彎管水頭損失的情形。本項實驗設備需配合水桌使用。

## 二、設備介紹：

### 2-1 設備各部分名稱說明：

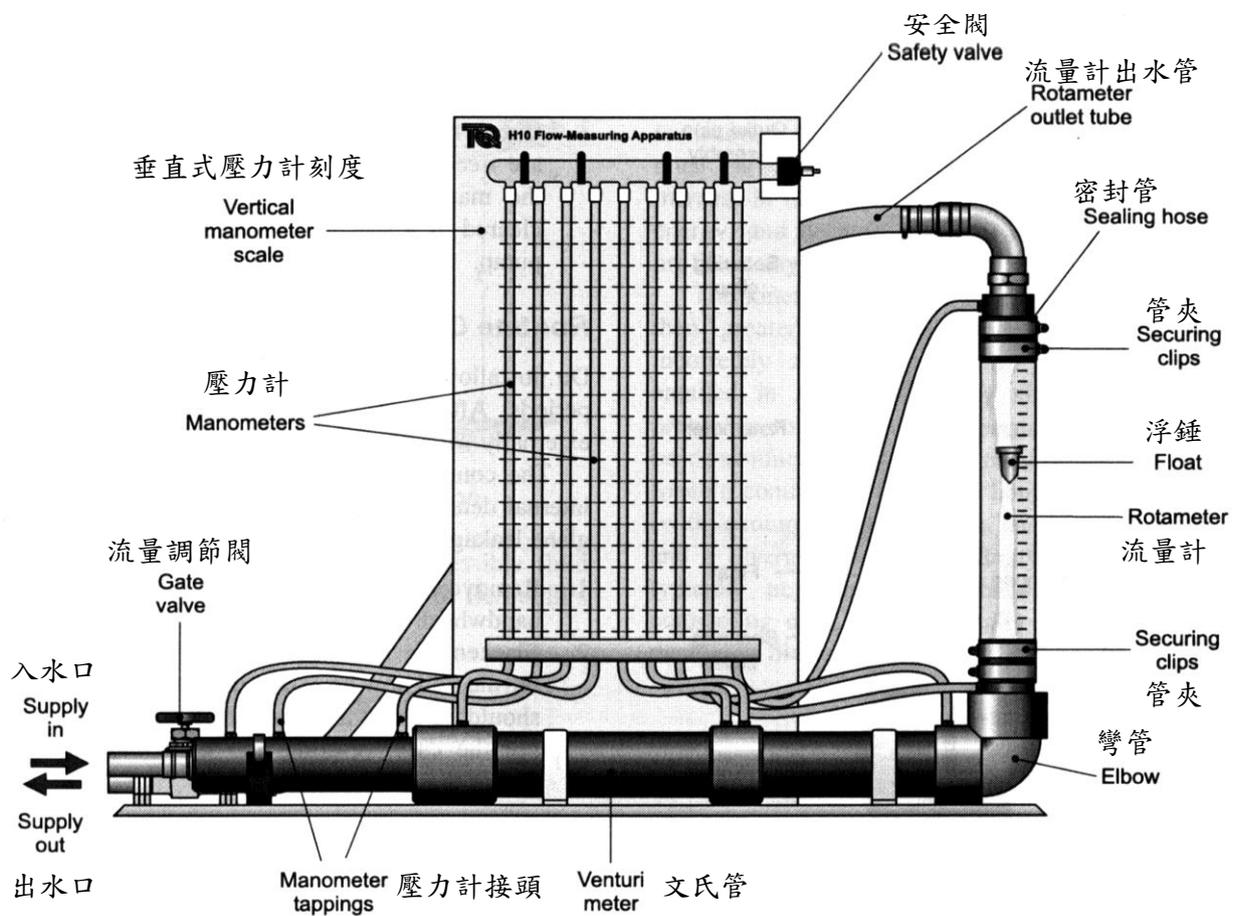


Figure 2 Flow measurement apparatus

由 Figure 2, Figure 3 所示，設備入水口與水桌連接，由水桌提供實驗用水源。水由入水口進入設備，流經文氏管(入口端直徑 16mm，漸擴至直徑 26mm)，再流經廣角擴管(直徑 26mm 增擴至直徑 51.9mm 段)，經過孔口板(直徑 20mm)，再經由浮錘式流量計，最後由出水口經由流量調節閥回流至水桌。流量調節閥為調整實驗所需的流量。

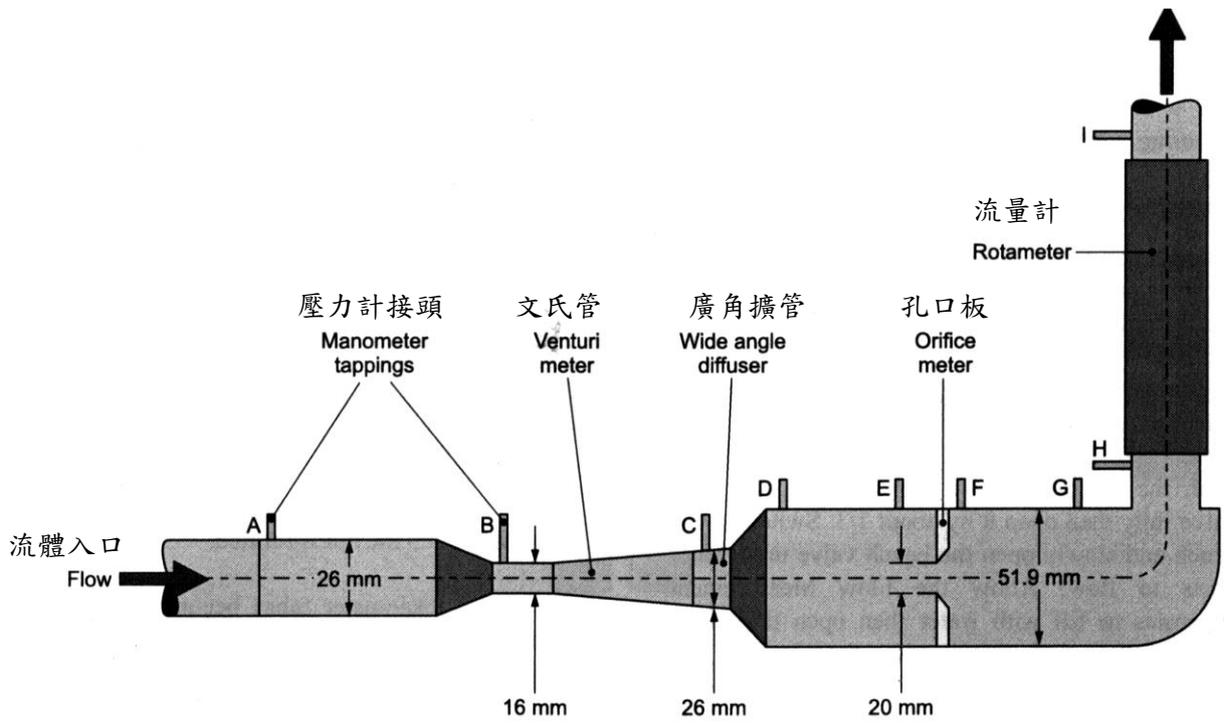


Figure 3 Explanatory diagram of flow measurement apparatus

### 2-3 流量計安裝詳細圖

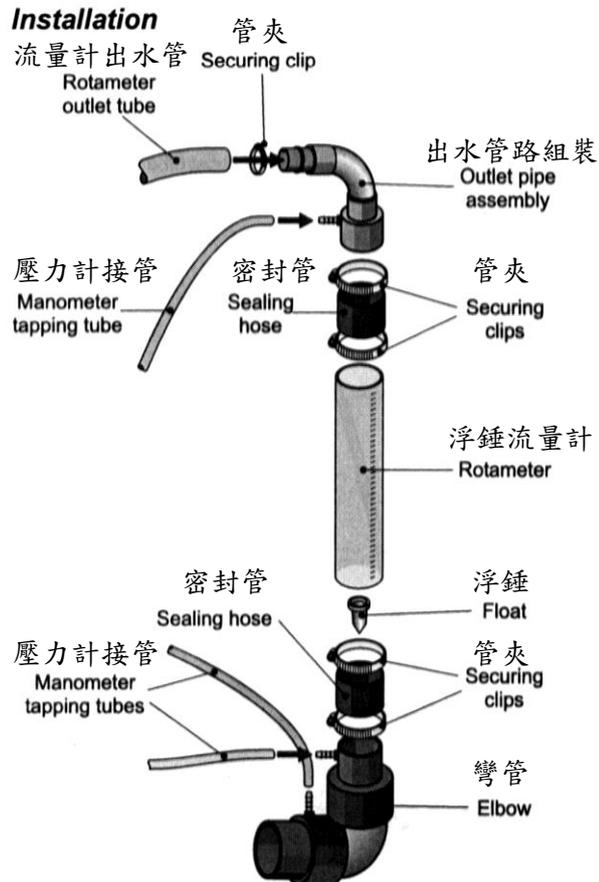


Figure 4 Rotameter connection diagram

### 三、原理

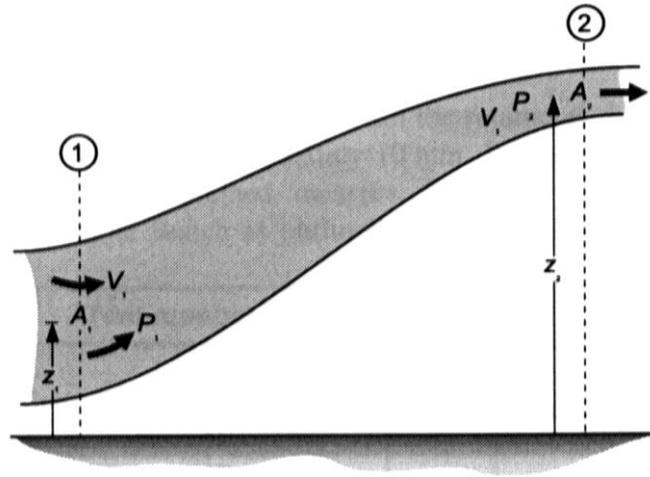


Figure 6 The steady-flow energy equation

Figure 6 所示 不可壓縮的絕熱穩態流體在管內流動時，即符合伯努利方程式，方程式如下：

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{\bar{V}_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\bar{V}_2^2}{2g} + z_2 + \Delta H_{12} \quad (1)$$

方程式中符號代表如下：

$\frac{p}{\rho g}$  = 靜水頭 Hydrostatic head

$\frac{\bar{V}^2}{2g}$  = 動能水頭 Kinetic head

$Z$  = 位能水頭 Potential head

$\frac{p}{\rho g} + \frac{\bar{V}^2}{2g} + z$  = 總水頭 Total head

水頭損失  $\Delta H_{12}$  可視為水流在管路中產生渦流所導致的結果。由於必須克服管壁的黏滯性所產生的剪應力與壓力，在流體中增加內能。由於流體流動產生黏滯現象，使得在流速在任何剖面的表現上，並不是均一的。

在任一個剖面的每一單位質量的動能，都較  $V^2/2g$  大，而伯努利方程式並不能正確描述這樣的情形。

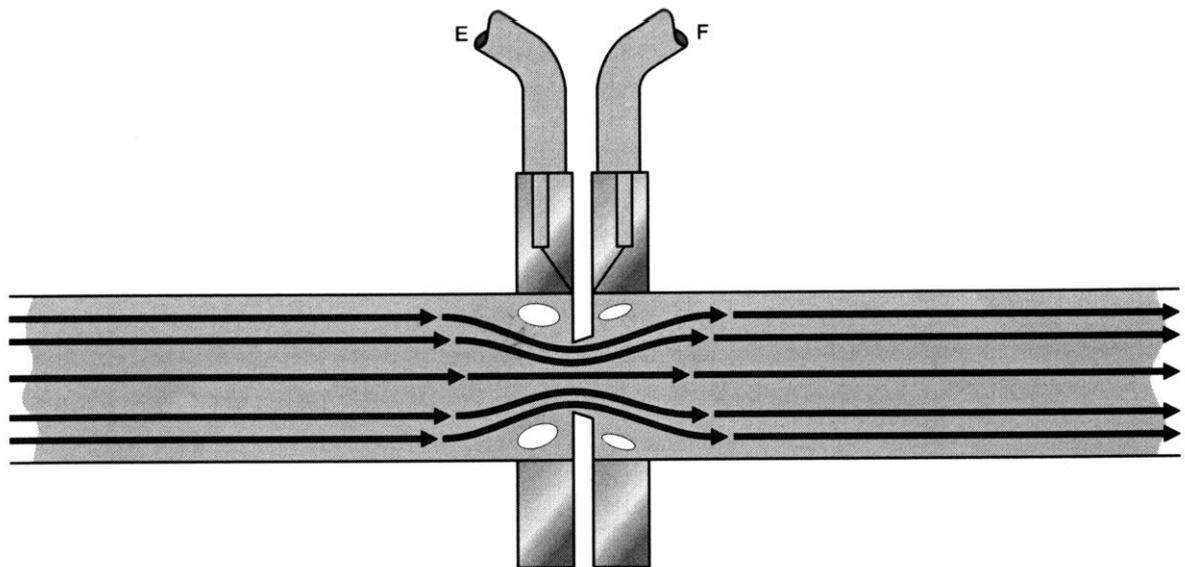


Figure 7 Construction of the orifice meter

#### 四、實驗步驟：

如果時驗設備已安裝完成，即可依照下列實驗步驟進行實驗：

1. 打開水桌幫浦開關以提供水源。
2. 調整出水口處的流量調整閥，將流量調整至浮錘式流量計指示至 10mm 處。
3. 在流量穩定時，觀察比較不同位置的壓力計高度，計錄並計算下表所示的各項數據。
4. 調整流量閥，以等距增加設備流量，重複以上步驟，記錄並計算所得的結果。

#### 實驗結果：

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	A										
	B										
壓力計高度 (mm) Manometric levels	C										
	D										
	E										
	F										
	G										
	H										
	I										
浮錘流量計 Rotameter ( cm )											
水重 Water, W (kg)											
時間 Time, T (secs)											
質量流率 Mass flow rate $\dot{m}$ (kg/s)	Venturi (8)										
	Orifice (11)										
	Rotameter										
	Weigh tank										
DH / Inlet Kinetic head	Venturi (13)										
	Orifice (14)										
	Rotameter										
	Diffuser (16)										
	Elbow (17)										

## 五、計算結果：

### 5-1 計算質量流率：

依據伯努利定律，可計算出文氏管、孔口板以及浮錘流量計的質量流率

#### 5-1-1 文氏管 (Venturi Meter)

在本實驗設備中，因為文氏管二端中心線在同一平面，故方程式(1)中的  $z_1$  與  $z_2$  可刪除，而  $\Delta H_{12}$  微小，可忽略不計。

以流體連續性可知：

$$\rho V_A A_A = \rho V_B A_B \quad (2)$$

流量：

$$Q = A_B V_B = A_B \left[ \left( \frac{2g}{1 - (A_B/A_A)^2} \right) \left( \frac{p_A}{\rho g} - \frac{p_B}{\rho g} \right) \right]^{1/2} \quad (3)$$

(A) 端與 (B) 端直徑為 26mm 與 16mm，二者截面積比為：

$$\frac{A_B}{A_A} = 0.38 \text{ and } A_B = 2.01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

由於  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ， $p_A/\rho g$ ， $p_B/\rho g$  所代表的是(A)、(B)二端連結至壓力計上的公制高度由此可得到：

$$Q = 9.62 \times 10^{-4} (h_A - h_B)^{1/2} \text{ m}^3/\text{s} \quad (4)$$

水的密度以  $1000 \text{ kg/m}^3$  計算：

$$\dot{m} = 0.962 (h_A - h_B)^{1/2} \text{ kg/s}$$

例如：

$$\begin{aligned} h_A &= 375 \text{ mm} \\ h_B &= 110 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$(h_A - h_B)^{1/2} = 0.51$$

$$\dot{m} = 0.962 \times 0.51 = 0.49 \text{ kg/s}$$

符合水桌所得的結果： $0.48 \text{ kg/s}$

### 5-1-2 孔口板 (Orifice Meter)

#### 5-1-2 孔口板 (Orifice)

在(E) 與 (F) 端的 $\Delta H_{12}$  不可忽略，所以方程式(1)可改寫為：

$$\frac{\bar{V}_F^2}{2g} - \frac{\bar{V}_E^2}{2g} = \left( \frac{p_E}{\rho g} - \frac{p_F}{\rho g} \right) - \Delta H_{12} \quad (5)$$

由於水頭損失的影響，所以使二端的壓力高度差比實際小，所以方程式表示成：

$$\frac{\bar{V}_F^2}{2g} - \frac{\bar{V}_E^2}{2g} = K^2 \left( \frac{p_E}{\rho g} - \frac{p_F}{\rho g} \right) \quad (6)$$

在本實驗設備中，K 值為 0.601，流量方程式如下：

$$Q = A_F \bar{V}_F = k A_F \left[ \left( \frac{2g}{1 - (A_F/A_E)^2} \right) \left( \frac{p_E}{\rho g} - \frac{p_F}{\rho g} \right) \right]^{1/2} \quad (7)$$

(E)直徑 51.9mm，(F)直徑 20mm，流量方程式可為：

$$Q = 8.46 \times 10^{-4} (h_E - h_F)^{1/2} \quad \text{m}^3/\text{s}$$

質量流率為：

$$\dot{m} = 0.846 (h_E - h_F)^{1/2} \quad \text{kg/s}$$

例如：

$$h_E = 372 \text{ mm}$$

$$h_F = 40 \text{ mm}$$

$$(h_E - h_F)^{1/2} = 0.58$$

$$\dot{m} = 0.846 \times 0.58 = 0.49 \text{ kg/s}$$

符合水桌所得的結果：0.48 kg / s

### 5-1-3 流量計 (Rotameter)

浮錘式流量計中，流體流經的面積為：

$$\pi(R_i^2 - R_f^2) = 2\pi R_f^2 \delta = \text{Cross-sectional area}$$

$$= \frac{\text{Discharge}}{\text{Constant peripheral velocity}}$$

浮錘式流量計的流量與浮錘高度成正比，使用浮錘式流量計前需先校正，校正圖表如 Figure 9 所示。

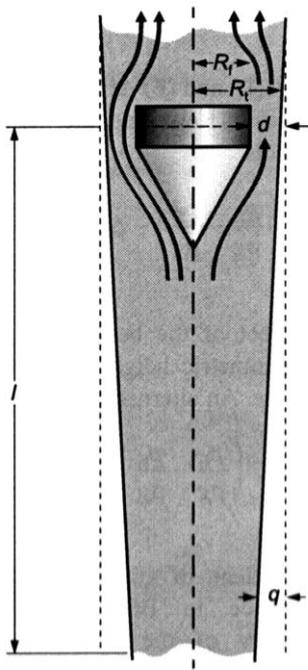


Figure 8 Principle of the rotameter

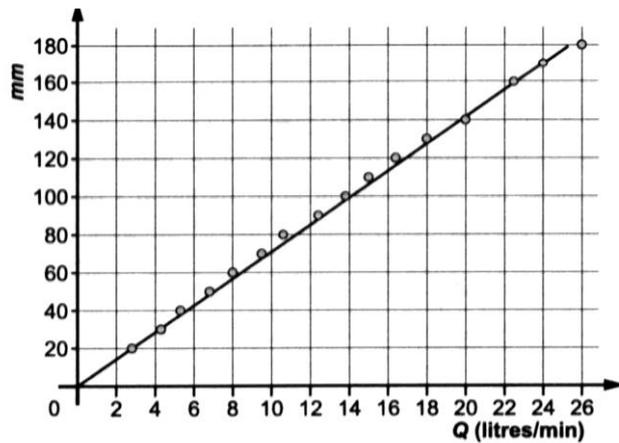


Figure 9 Typical rotameter calibration curve

## 5-2 計算水頭損失：

各項流量量測裝置都可應用方程式(1)，以求得水頭損失。

### 5-2-1 文氏管 ( Venturi Meter )

計算(A)與(C)端的壓力差：

$$\frac{p_A}{\rho g} - \frac{p_C}{\rho g} = \Delta H_{AC}$$

也就是：

$$h_A - h_C = \Delta H_{AC}$$

$\frac{\bar{V}_A^2}{2g}$  為入口動能水頭

$$\bar{V}_B^2 = \frac{2g}{1 - (A_B/A_A)^2} \left( \frac{p_A}{\rho g} - \frac{p_C}{\rho g} \right)$$

$$\bar{V}_A^2 = \bar{V}_B^2 (A_B/A_A)^2$$

$$\bar{V}_A^2 = \left( \frac{A_B}{A_A} \right)^2 \left[ \frac{1}{1 - (A_B/A_A)^2} \left( \frac{p_A}{\rho g} - \frac{p_C}{\rho g} \right) \right]$$

本實驗設備 (  $A_B/A_A$  ) = 0.38

$$\frac{\bar{V}_A^2}{2g} = 0.144 \times 1.16 \left( \frac{p_A}{\rho g} - \frac{p_C}{\rho g} \right) = 0.167(h_A - h_C)$$

例如：

$$h_A = 375 \text{ mm}$$

$$h_B = 110 \text{ mm}$$

$$h_C = 350 \text{ mm}$$

$$\Delta H_{AC} = h_A - h_C = 25 \text{ mm}$$

$$\frac{\bar{V}_A^2}{2g} = 0.167(h_A - h_C) = 0.167 \times 265$$

$$= 44.26 \text{ mm}$$

$$\text{Head loss} = \frac{25}{44.26} = 0.565 \text{ inlet kinetic heads}$$

### 5-2-2 孔口板 ( Orifice Meter )

#### 5-2-2 孔口板 (Orifice)

(E) 和 (F) 為孔口板的量測範圍。孔口板量測計算水頭損失，應用方程式(1)時，以係數取代動能水頭與靜水頭，這是因為孔口板的阻礙，使衝擊孔口板的壓力會傳導到管壁上，增加管壁的壓力所致。本實驗設備的係數為 0.83。

所以：

$$\begin{aligned} \Delta H_{EF} &= 0.83 (h_E - h_F) \text{ mm} \\ &= 0.83 (372 - 40) \text{ mm} = 275 \text{ mm} \end{aligned}$$

因為孔口板的外徑 ( 51.9mm ) 幾近於文氏管入口管徑 ( 26mm ) 的 2 倍，所以孔口板入口的動能水頭幾近於文氏管的 1/16，因此：

$$\frac{44.26}{16} = 2.76$$

所以：

$$\text{Head loss} = \frac{275}{2.76} = 99.6 \text{ inlet kinetic heads}$$

### 5-2-3 浮錘式流量計 ( Rotameter )

使用浮錘式流量計時，應用方程式(1)可寫成：

$$\left( \frac{p_H}{\rho g} + z_H \right) - \left( \frac{p_I}{\rho g} + z_I \right) = \Delta H_{HI}$$

以 Figure 10 所表示，則：

$$h_H - h_I = \Delta H_{HI}$$

由實驗結果顯示，實際上水頭損失與流量大小無關，且有一常數值約為 100mm 水柱高，這是浮錘式流量計的特徵屬性。相對的目的而言，它可表示入口處的動能水頭。然而，當速度非常低時，水頭損失保持相同數值，變成許多許多倍的動能水頭。

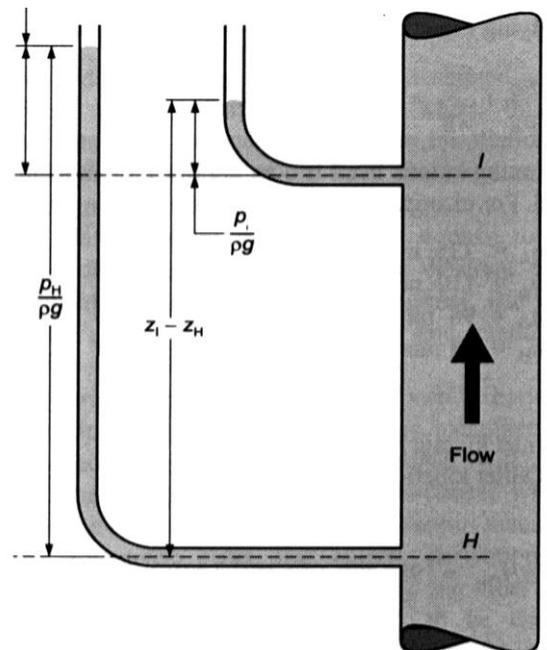


Figure 10 Rotameter head loss

#### 5-2-4 廣角擴管 (Wide-Angled Diffuser)

廣角擴管的入口位置在 (C)，出口位置為 (D)，應用方程式(1)，寫成：

$$\frac{p_C}{\rho g} + \frac{\bar{V}_C^2}{2g} = \frac{p_D}{\rho g} + \frac{\bar{V}_D^2}{2g} + \Delta H_{CD}$$

由於廣角擴管的入口與出口的面積比是 1：4，所以出口動能水頭為入口動能水頭的 1/16。

例如：

$$h_A = 375 \text{ mm}$$

$$h_B = 110 \text{ mm}$$

$$h_C = 350 \text{ mm}$$

$$h_D = 360 \text{ mm}$$

而入口的動能水頭 = 44.26 mm (請參考文氏管的水頭損失計算)

出口水頭則為：

$$\frac{44.26}{16} = 2.8 \text{ mm}$$

而

$$\Delta H_{CD} = (350 - 360) + (44.26 - 2.8)$$

$$= 31.46 \text{ mm of water}$$

所以：

$$\text{水頭損失} = \frac{31.46}{42.75} = 0.71 \text{ 入口動能水頭}$$

### 5-2-5 90° 彎管 ( Right-Angled Bend )

彎管入口處 (G) 直徑為 51.9mm，出口處 (H) 直徑為 40mm。

由方程式(1)，得：

$$\frac{p_G}{\rho g} + \frac{\bar{V}_G^2}{2g} = \frac{p_H}{\rho g} + \frac{\bar{V}_H^2}{2g} + \Delta H_{GH}$$

出口的動能水頭為入口動能水頭的 2.8 倍 ( ( 51.9 / 40 )<sup>4</sup> = 2.83 )

$$h_A = 375 \text{ mm}$$

$$h_B = 110 \text{ mm}$$

$$h_G = 98 \text{ mm}$$

$$h_H = 88 \text{ mm}$$

且：

$$\text{Inlet kinetic head} = 2.76 \text{ mm}$$

$$\text{Outlet kinetic head} = 7.73 \text{ mm}$$

所以：

$$\Delta H_{GH} = (98 - 88) + (2.76 - 7.73)$$

$$= 5.03 \text{ mm of water}$$

因此：

$$\text{Head loss} = \frac{5.03}{2.76} = 1.82 \text{ inlet kinetic heads}$$

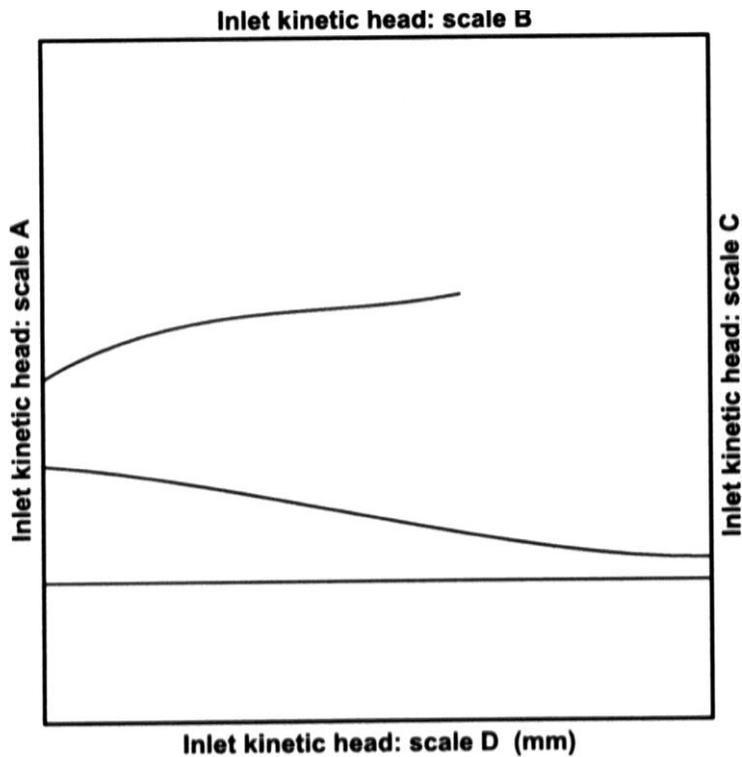


Figure 11 Typical head loss graph

## 六、問題與討論

1. 在同一張圖畫出 (1)文氏管 (2)孔口板 (3)浮錘式流量計 (4)廣角擴管 (5)90 度彎管 之水頭損失(縱座標)隨質量流率(橫坐標)的變化圖，並討論其結果。
2. 你認為本實驗中 (1)文氏管(Venturi) (2)孔口板(Orifice) (3)浮錘式流量計(Rotameter) (4)重量桶(Weigh tank) 哪一種流量測流最準確？哪一種最不準確？為什麼？