

逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：

流體力學試驗報告

第八章 管路流量計試驗

作者：黃靖純、吳佳倩、邱欣姿

系級：水利工程學系

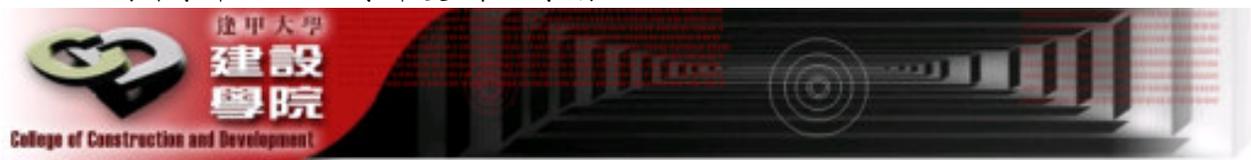
學號：D9357230、D9357168、D9325517

開課老師：許少華 老師

課程名稱：流體力學試驗

開課系所：水利工程學系

開課學年：95 學年度 第1學期



摘要

藉由測量管路系統中流量的裝置如孔口計(Orifice meter)、文氏計(Venturimeter)、羅托計(Rota meter)等，量測各管路口徑所產生壓力差，再由此壓力差來計算流量。利用以上的討論可以求得文氏計、孔口計、羅托計、廣角突增、彎管等水頭損失。

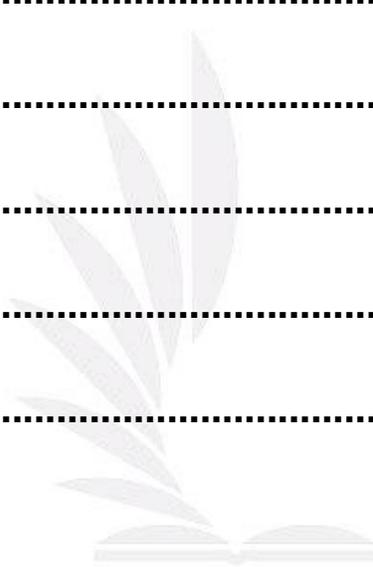
本實驗須配合水力實驗台，水自試台之出水口從右邊進入儀器後上升，再自上端左邊經量水孔口流回試驗台之蓄水箱，構成一個循環單元。儀器上共有九個壓力孔口上以透明軟塑膠管集合構成一集合封閉式壓力計。固定於一塊柱板上，板之上端有一空氣孔閥門，用以調整壓力計內之空氣含量，如果其內空氣太多，可旋鬆氣孔上之銅外套施放空氣；相反的，如果空氣太少，可用打氣筒注入空氣。儀器之左上端有一流量控制閥門(此閥門須完全打開，在實驗中無須使用)。儀器下方平板的四角分別有四個調整支腳，用以調整儀器成水平。

關鍵字

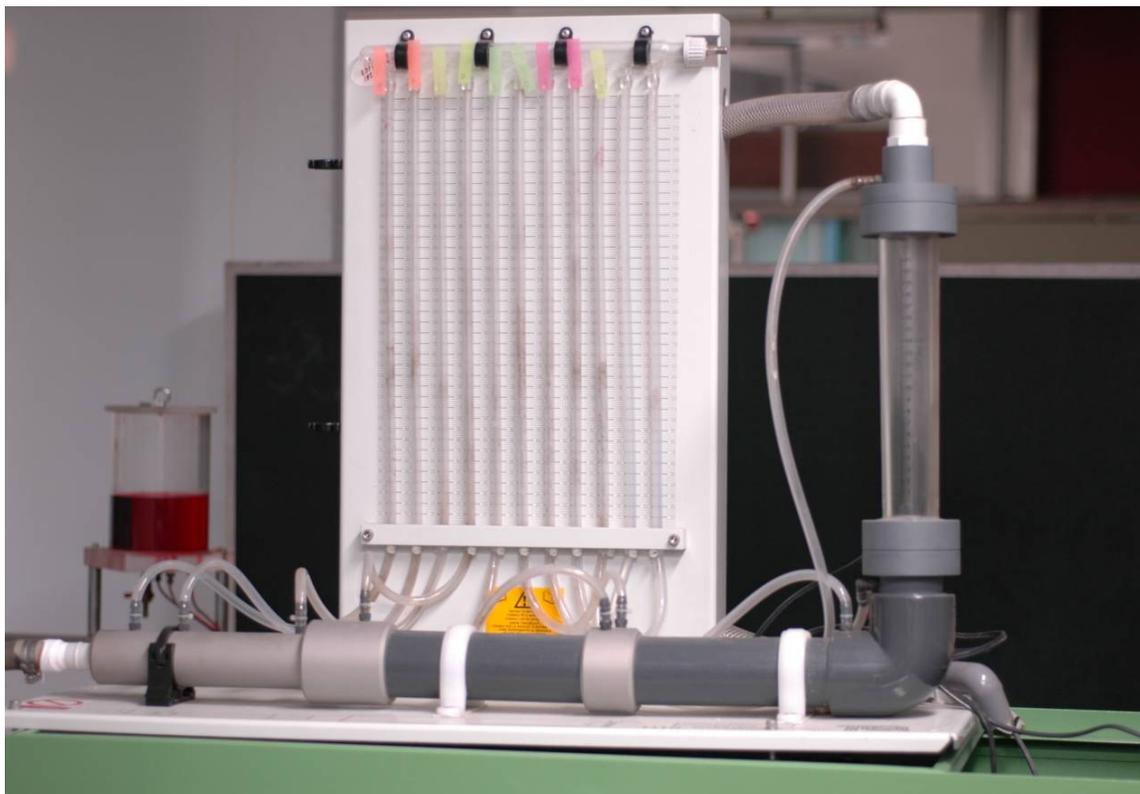
文氏計、孔口計、管路流量計、羅托計、水力實驗台

目 次

一、前言	3
二、原理	4
三、儀器簡介	7
四、步驟	9
五、結果與分析	10
六、問題與討論	14
七、結論與建議	19
八、照片剪影	20
九、參考文獻	22



第八章、管路流量計試驗



圖一 管路流量計試驗全圖

一、前言

測量管路系統中流量的裝置有孔口計(Orifice meter)、文氏計(Venturi meter)、羅托計(Rota meter)等，前兩者利用管路口徑在短距離變化產生壓力差，再由此壓力差來計算流量；而羅托計為一傾斜透明玻璃管，管內有一不銹鋼製的圓錐體，利用錐體上升高度來計算通過之流量。羅托計必須裝置成與重力平行的方向，而文氏計與孔口計則無此限制，可裝置成任何角度，故於實際應用時，羅托計較不方便。

二、原理

將主水閥開至最大，然後控制羅托計高度一次增加 0.5 單位，記錄各壓力孔口的高度與時間，以計算實際流量。如果文氏計在壓力孔口 a 與 b 間的水頭損失不計，則利用伯努利定理：

$$\frac{P}{\gamma} + Z + \frac{V^2}{2g} = \text{總水頭} = \text{常數} \quad (1)$$

可得如下之方程式：

$$Q_{ab} = CA_b \left\{ \frac{2g}{1 - \left(\frac{A_a}{A_b}\right)^2} \left(\frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_b}{\gamma} \right) \right\}^{\frac{1}{2}} = CA_b \left\{ \frac{2g}{1 - \left(\frac{A_a}{A_b}\right)^2} (h_a - h_b) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

同理，利用孔口計上、下游兩壓力孔口之壓力差，亦可根據伯努利定理求得計算孔口計流量之關係式：

$$Q_{cd} = CA_f \left\{ \frac{2g}{1 - \left(\frac{A_f}{A_e}\right)^2} \left(\frac{P_e}{\gamma} - \frac{P_f}{\gamma} \right) \right\}^{\frac{1}{2}} = CA_f \left\{ \frac{2g}{1 - \left(\frac{A_f}{A_e}\right)^2} (h_e - h_f) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

上三式中， Q ：流量

C ：流量係數(Discharge coefficient)

A ：斷面積；右下註腳之小寫字母表示壓力孔口的位置

Z ：高度

V ：斷面積平均速度(Sectional mean velocity)

g ：重力加速度

P ：壓力；右下註腳之小寫字母表示壓力孔口的位置

h ：壓力水頭；右下註腳之小寫字母表示壓力孔口的位置

γ ：流體之單位體積重(Specific weight of fluid)

此次試驗主要是探討方程式 (2) 及方程式 (3) 中之 C 值及羅托計圓錐體上升高度與流量間的關係。我們可以得知方程式 (2) 及方程式 (3) 中之 C 值及羅托計圓錐體上升高度與流量間的關係。此外我們還可以利用伯努利原理來探討管路中非均勻流動之水頭損失，以下為文氏計、孔口計、羅托計、廣角突增、彎管等水頭損失之討論：(各孔口之位置圖如圖四所示)

1. 文氏計：引用伯努利原理於壓力孔口 a 與 b 上，即可得知：

$$h_{1ab} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} - \frac{P_b}{\gamma} - \frac{V_b^2}{2g} \quad (4)$$

或
$$h_{1ab} = h_a - h_b \quad (5)$$

式中， h ：封閉式差壓計內之儀壓高，右下註腳之小寫字母代表壓力孔口之位置

h_l ：水頭損失，右下註腳之小寫字母代表壓力孔口之位置

2. 孔口計：引用伯努利定理於壓力孔口上 e 及 f 上即可得知：

$$h_{lef} = \frac{P_e}{\gamma} + \frac{V_e^2}{2g} - \frac{P_f}{\gamma} - \frac{V_f^2}{2g} \quad (6)$$

或
$$h_{lef} = h_e - h_f \quad (7)$$

3. 羅托計：在孔口計儀器中，其孔口直徑固定不變，流體經過孔口後產生一壓差。而在羅托計中，並無產生壓差，然浮標與管壁間之流孔則隨流體流量而改變，簡單之羅托計如附圖所示。

浮標與管壁間之周隙表面(Annular Aperture Surface)，隨浮標之上下而改變，亦即隨流量而改變。當一流體自流量計底部進入，自頂部流出，浮標上同時被上下二力所作用，若此二力互相平衡，浮標即固定於某一位置，而對照管壁之流量刻度，即可知當時之流量大小。浮標之向下力(Downward Force)等於浮標之重量減去被浮標所排出液體之重量。此向下力同時被流體流動之向上力(Upward Force)所抵消。因浮標之重量始終不變，在平衡時，浮標上下時之壓力

落差亦不變，又因流管之內壁係製成錐形，上大下小，則使流體通過之環型橫斷面積(Annular Cross section Area)為可變者。增加流量後，並不增加浮標上下之壓力落差，卻使浮標昇至一較高位置，於是使流體通過之面積為之增加，此為浮體(面積)流量計之基本原理。而羅托計之上下兩壓力孔所測得之壓力差，其產生之主因係由於通過浮標周圍之高速流所導致之水頭損失。利用伯努利定理於羅托計上，得知：

$$h_{hi} = \frac{P_e}{\gamma} + Z_h - \frac{P_i}{\gamma} - Z_i \quad (8)$$

或
$$h_{hi} = h_h - h_i \quad (9)$$

4.廣角突增：探討廣角突增（管徑突然增）大之損失水頭，可利用伯努利定理於壓力孔口 c 與 d 上，即可求得：

$$h_{icd} = \frac{P_c}{\gamma} + \frac{V_c^2}{2g} - \frac{P_d}{\gamma} - \frac{V_d^2}{2g} \quad (10)$$

或
$$h_{l\ cd} = h_c - h_d \quad (11)$$

5.彎管：探討彎管之水頭損失，需引用伯努利定理於壓力孔口 g 與 h 上，亦可求得：

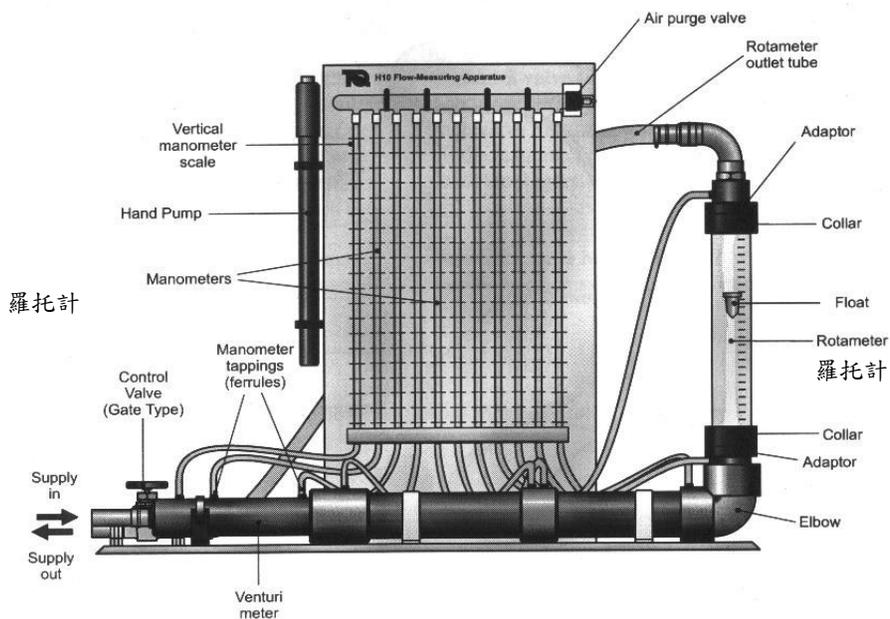
$$h_{l\ gh} = \frac{P_g}{\gamma} + \frac{V_g^2}{2g} - \frac{P_h}{\gamma} - \frac{V_h^2}{2g} \quad (12)$$

或
$$h_{l\ gh} = h_g - h_h \quad (13)$$

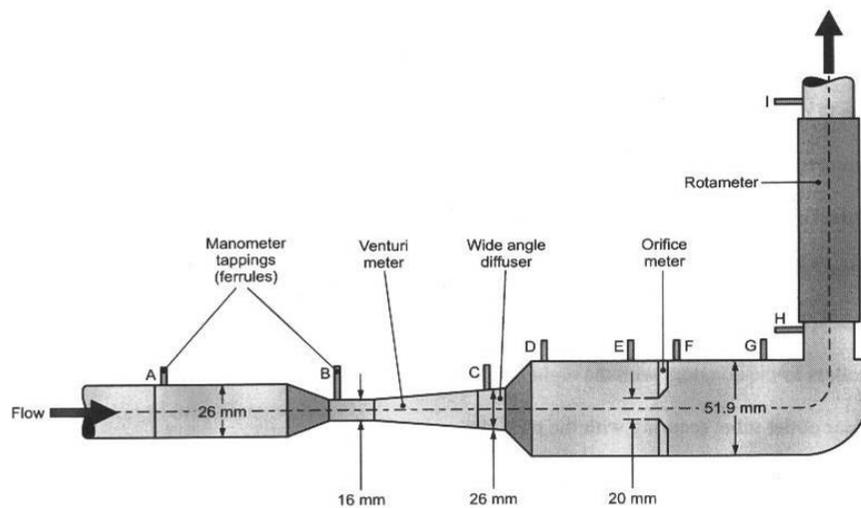
利用以上的討論我們可以求得文氏計、孔口計、羅托計、廣角突增、彎管等水頭損失，見表一。

三、儀器簡介

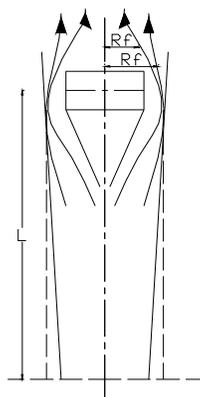
如圖一所示，本實驗須配合水力實驗台，水自試台之出水口從右邊進入儀器後上升，再自上端左邊經量水孔口流回試驗台之蓄水箱，構成一個循環單元。儀器上共有九個壓力孔口上以透明軟塑膠管集合構成一集合封閉式壓力計。固定於一塊柱板上，板之上端有一空氣孔閥門，用以調整壓力計內之空氣含量，如果其內空氣太多，可旋鬆氣孔上之銅外套施放空氣；相反的，如果空氣太少，可用打氣筒注入空氣。儀器之左上端有一流量控制閥門(此閥門須完全打開，在實驗中無須使用)。儀器下方平板的四角分別有四個調整支腳，用以調整儀器成水平。



圖二 管路流量儀示意圖

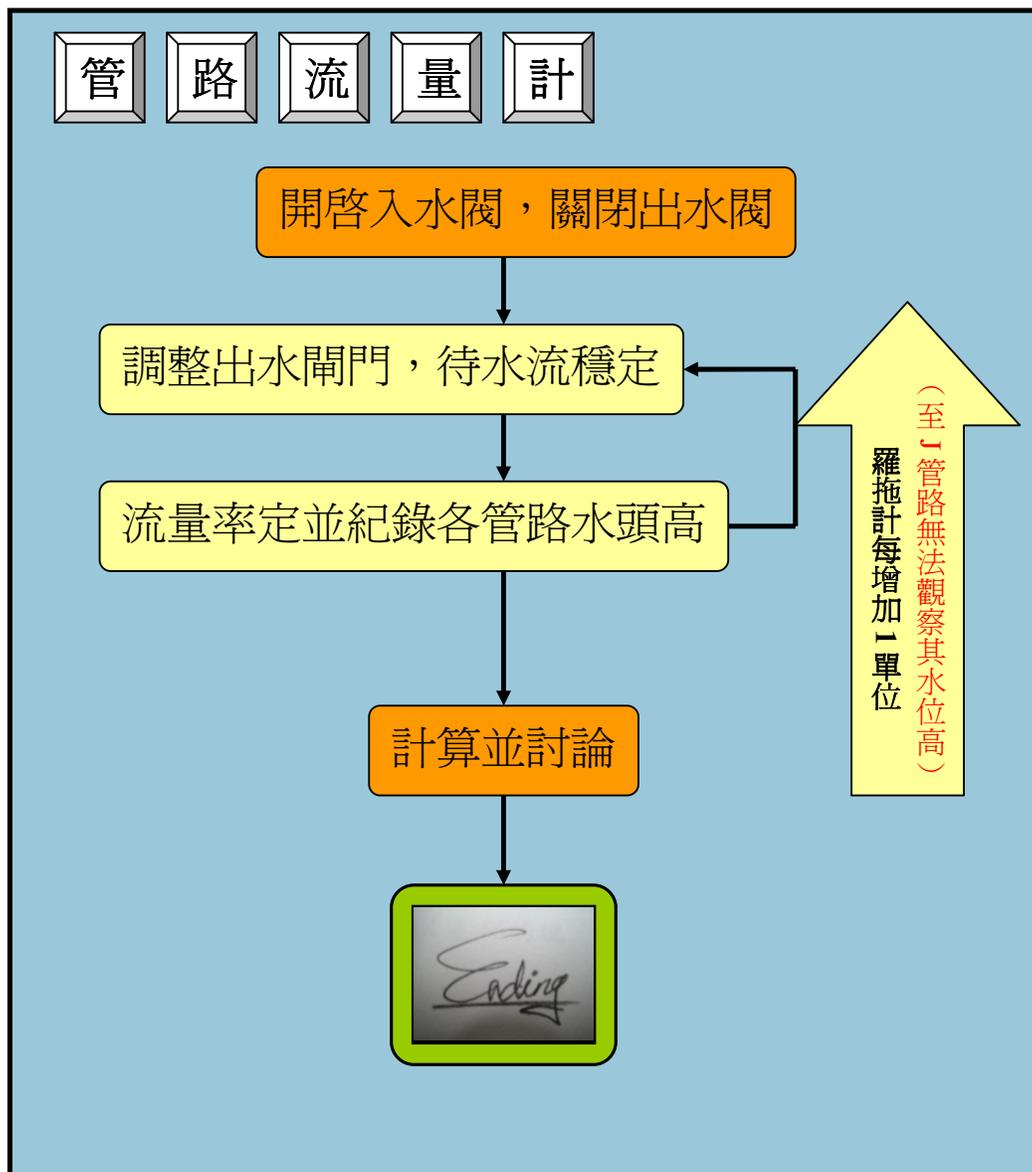


圖三 流量計裝設及孔口位置示意圖



圖四 羅托計原理示意圖

四、步驟



圖五 管路流量計試驗流程圖

五、結果與分析

1. 將表二及表三中之數據分別代入方程式(2)及方程式(3)中；可以分別求得文氏計及孔口板的流量，並將其所算出的數據與實際流量(即水箱之流量)列於表四中。
2. 而方程式(2)及方程式(3)中之 C 值可以由下列的方法求出：
 - I. 方程式(2)的 C (即文氏計之流量係數 C) 以實測流量為垂直座標軸，而以方程式(2)右邊 (C 以外之其他值) 為水平座標軸，C 值即相當於通過座標軸原點之直線斜率。
 - II. 方程式 (3) 的 C (即孔口板之流量係數 C) 所求方法與方程式(2)的 C 相同，其個別所求出的 C 值見圖五及圖六所示。

表一 管路流量計試驗記錄表

試驗次數	水柱高(mm)									羅托計讀數 (cm)	通過水體積 (cm ³)	時間 (s)	流量 (cm ³ /sec)
	A	B	C	D	E	F	G	H	J				
1	258	250	256	256	256	250	252	252	146	3	800	10	80
2	256	246	254	254	256	244	246	246	142	4	550	5	110
3	258	242	254	254	256	236	240	240	136	5	680	5	136
4	256	232	250	250	252	228	232	230	130	6	450	3	150
5	256	226	250	250	252	216	224	222	120	7	550	3	183
6	254	216	246	248	250	204	212	212	110	8	600	3	200
7	256	200	244	244	248	190	200	200	96	9	700	3	233
8	254	192	240	240	244	174	188	186	84	10	800	3	267
9	252	178	236	238	242	156	170	168	66	11	850	3	283
10	250	162	232	232	240	134	150	150	46	12	950	3	317

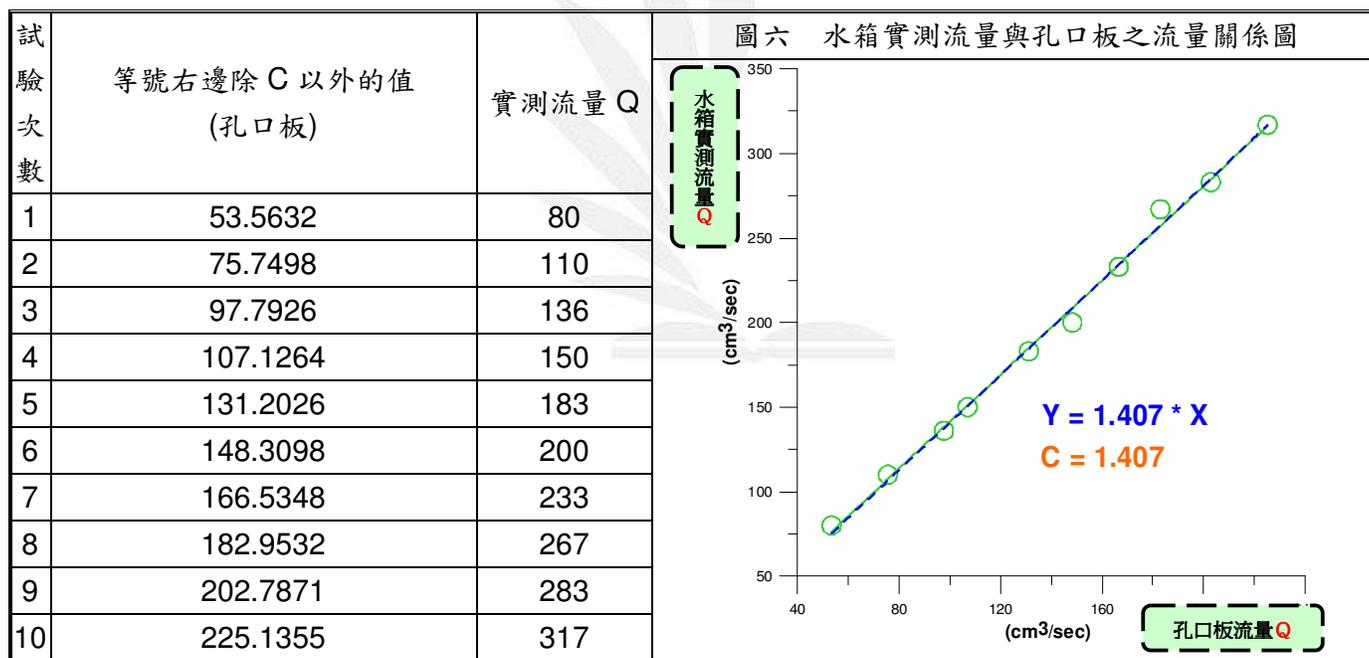
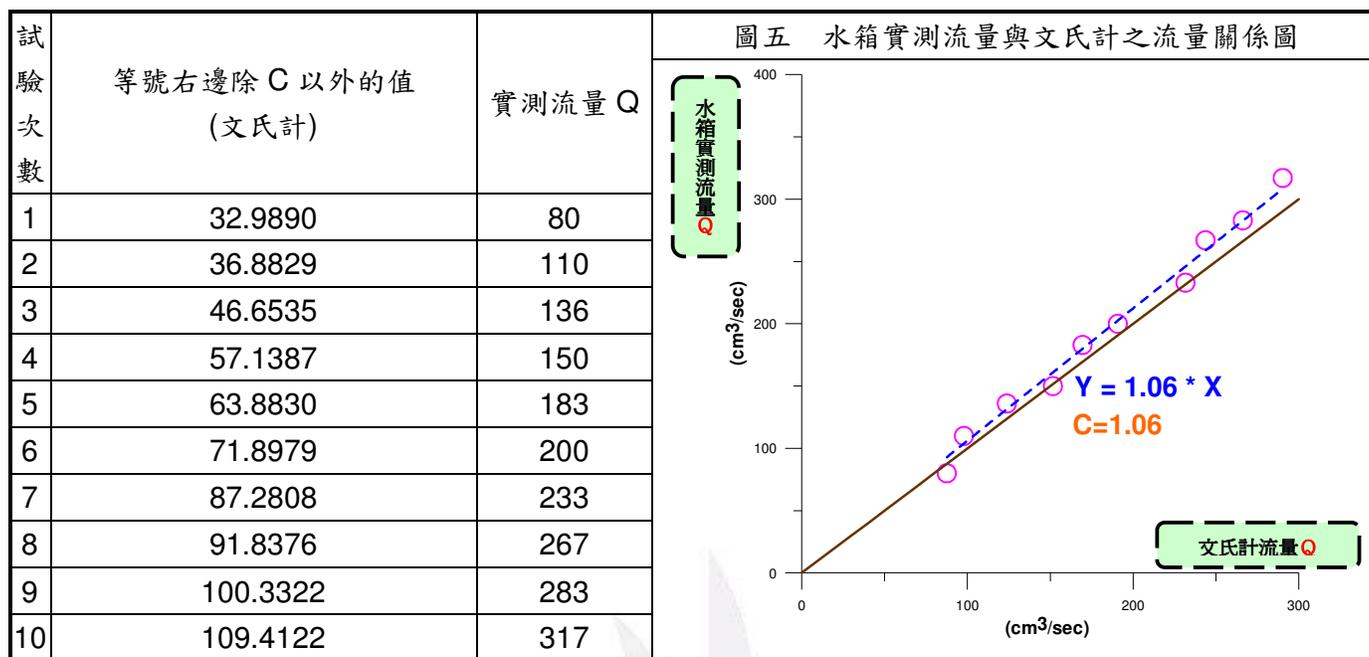
表二 水頭損失記錄表

試驗次數	水頭損失 h_l (mm)				
	文氏管(AB)	孔口板(EF)	羅托計(HJ)	廣角突增 (CD)	彎管(GH)
1	8.0	6.0	-106.0	0.0	0.0
2	10.0	12.0	-104.0	0.0	0.0
3	16.0	20.0	-104.0	0.0	0.0
4	24.0	24.0	-100.0	0.0	2.0
5	30.0	36.0	-102.0	0.0	2.0
6	38.0	46.0	-102.0	-2.0	0.0
7	56.0	58.0	-104.0	0.0	0.0
8	62.0	70.0	-102.0	0.0	2.0
9	74.0	86.0	-102.0	-2.0	2.0
10	88.0	106.0	-104.0	0.0	0.0

表三 文氏計各壓力孔口之幾何尺寸

壓力孔口 編號	直徑 (cm)	D2/DN	$(A2/AN)^2$	$(A2/A1)^2 - (A2/AN)^2$	斷面積 $A(\text{cm}^3)$
A	2.60	0.615	0.144	0.000	5.309292
B	2.32	0.690	0.226	-0.082	4.227327
C	1.84	0.869	0.575	-0.431	2.659044
D	1.60	1.000	1.000	-0.856	2.010619
E	1.68	0.953	0.830	-0.686	2.216708
F	1.85	0.867	0.565	-0.421	2.688025
G	2.02	0.787	0.400	-0.256	3.204739
H	2.18	0.730	0.289	-0.145	3.732526
I	2.35	0.680	0.215	-0.071	4.337361

表四 實測流量之文氏計、孔口板 (C 以外之其他值)



將兩表繪圖後得之 C 值代入表五

	文氏計	孔口板
C 值	1.06	1.407

表五 文氏計、孔口板與水箱之關係表

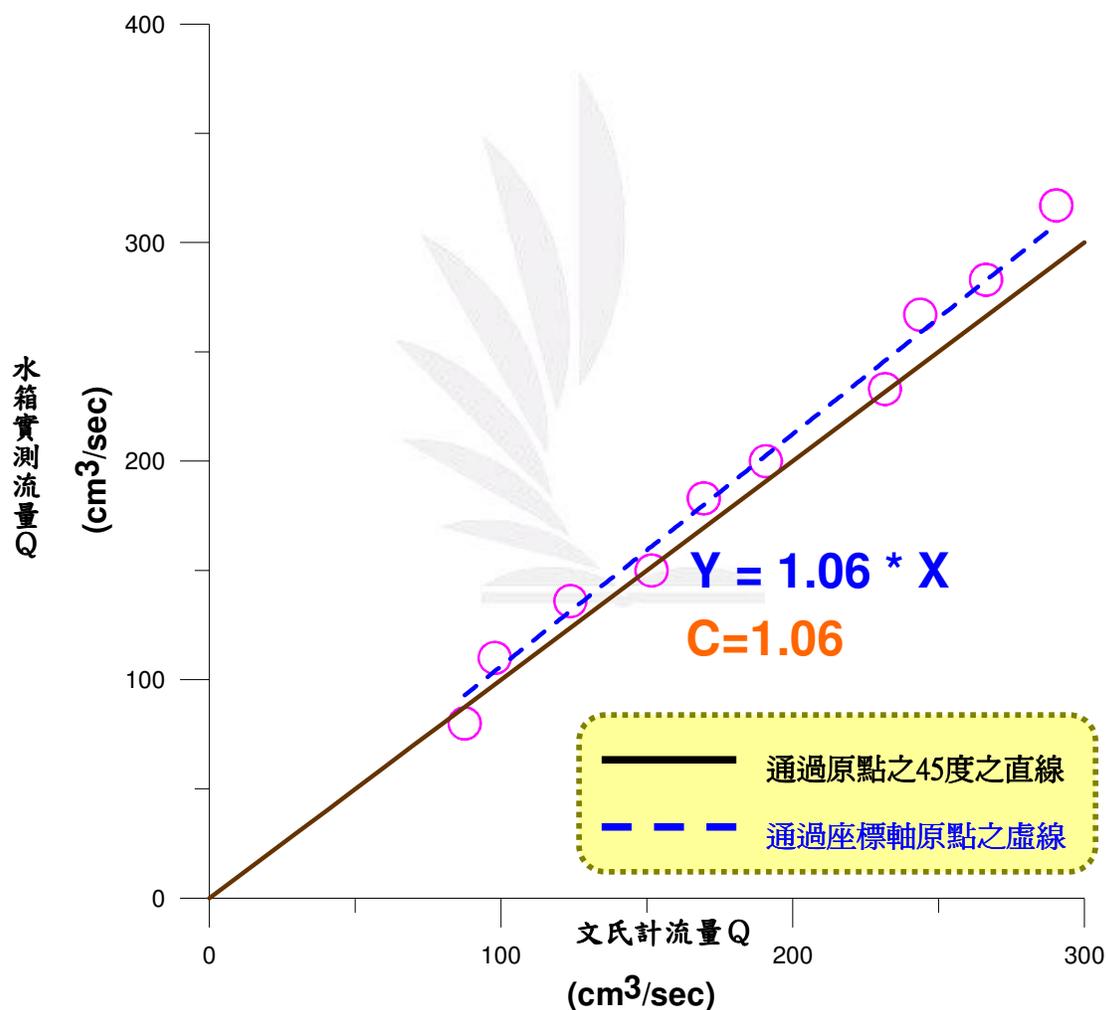
試驗次數	流量 (cm ³ /s)			
	文氏計 (Q_{ab})	孔口板 (Q_{cd})	羅托計(cm)	水箱
1	92.7896	75.3635	3	80
2	103.7419	106.5800	4	110
3	131.2242	137.5942	5	136
4	160.7162	150.7269	6	150
5	179.6862	184.6020	7	183
6	202.2301	208.6719	8	200
7	245.4981	234.3145	9	233
8	258.3152	257.4152	10	267
9	282.2084	285.3214	11	283
10	307.7481	316.7657	12	317

此次試驗主要是探討方程式 (2) 及方程式 (3) 中之 C 值及羅托計圓錐體上升高度與流量間的關係。而在【五、結果與分析】中，我們可以得知方程式 (2) 及方程式 (3) 中之 C 值 (C 值即相當於通過座標軸原點之直線斜率) 及羅托計圓錐體上升高度與流量間的關係。此外我們還可以利用方程式 (4)、方程式 (6)、方程式 (8)、方程式 (10) 與 方程式 (12) 來探討管路中文氏計、孔口板、羅托計、廣角突增、彎管等之非均勻流動之水頭損失。

六、問題與討論

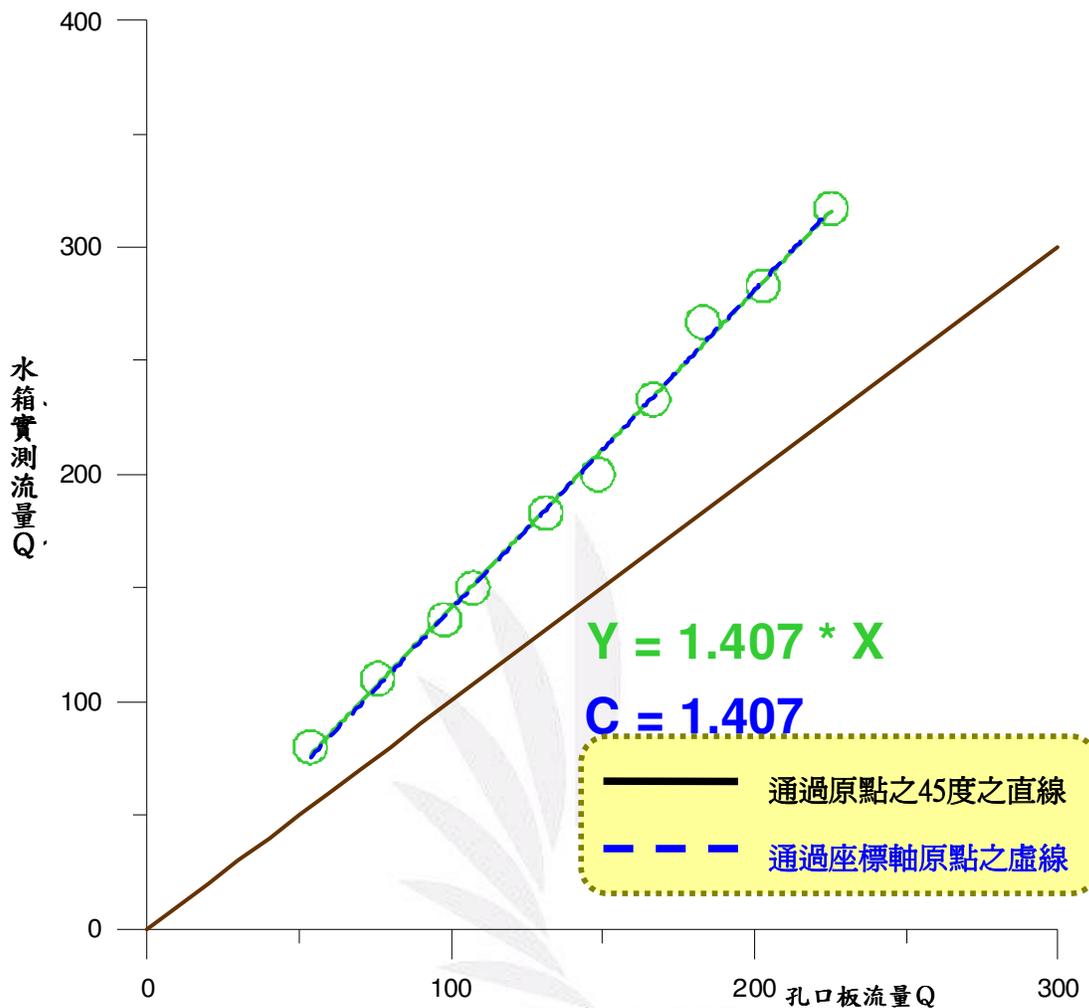
1. 決定文氏計儀器係數或流量係數C值方法如下:

於方格紙上，以實測流量為垂直座標軸，而以方程式(3)等號之右除C以外之其他值為水平座標軸。方程式(3)顯示C值即相當於通過座標軸原點之直線斜率。將數據繪於圖上以不同符號表示流量漸次增加及減少等不同情況，而後再求直線數值方程式，圖上須標示通過原點之45度直線，比較並討論結果。



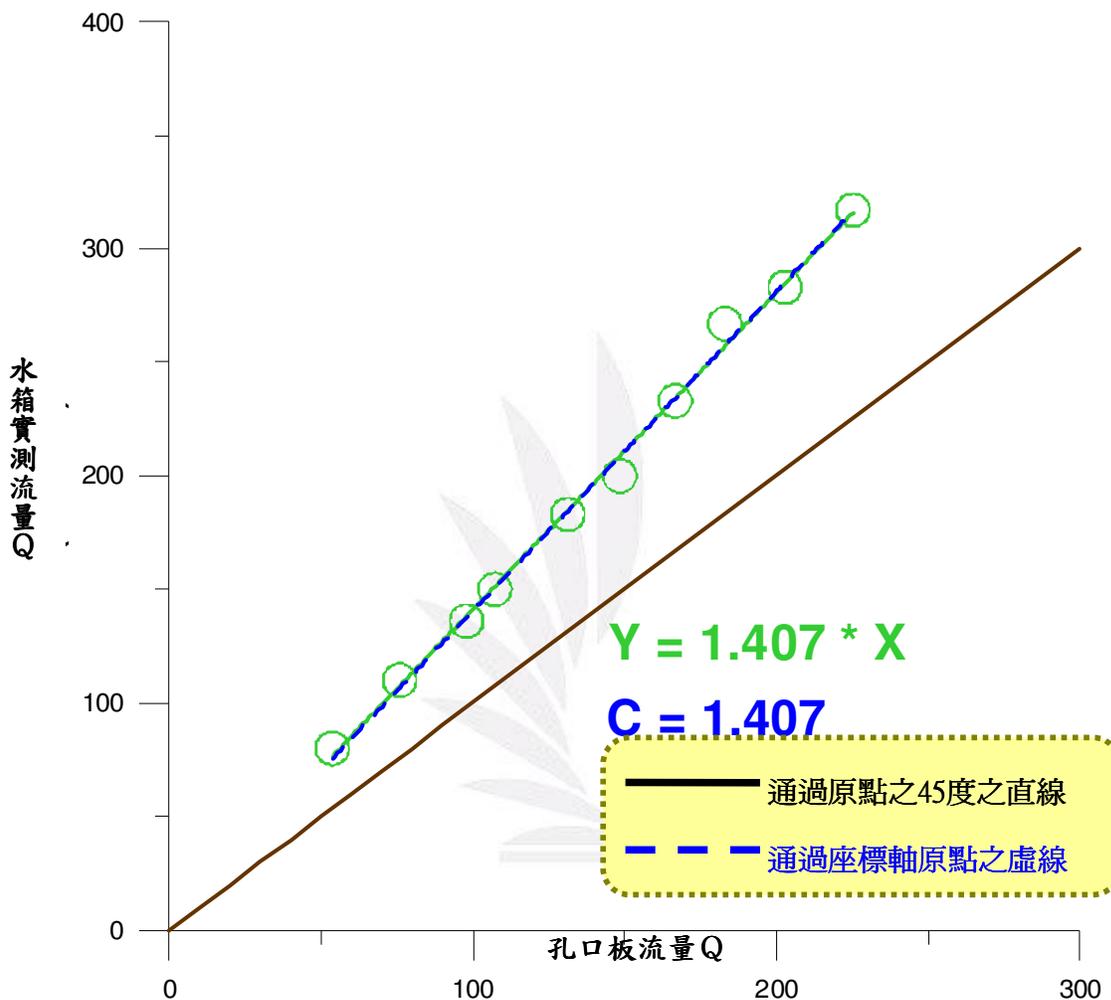
圖七 水箱流量&文氏計之流量流量關係圖

2.由方程式(5)決定孔口計2.流量係數C值，方法類似1.



圖八 水箱流量&孔口板之流量流量關係圖

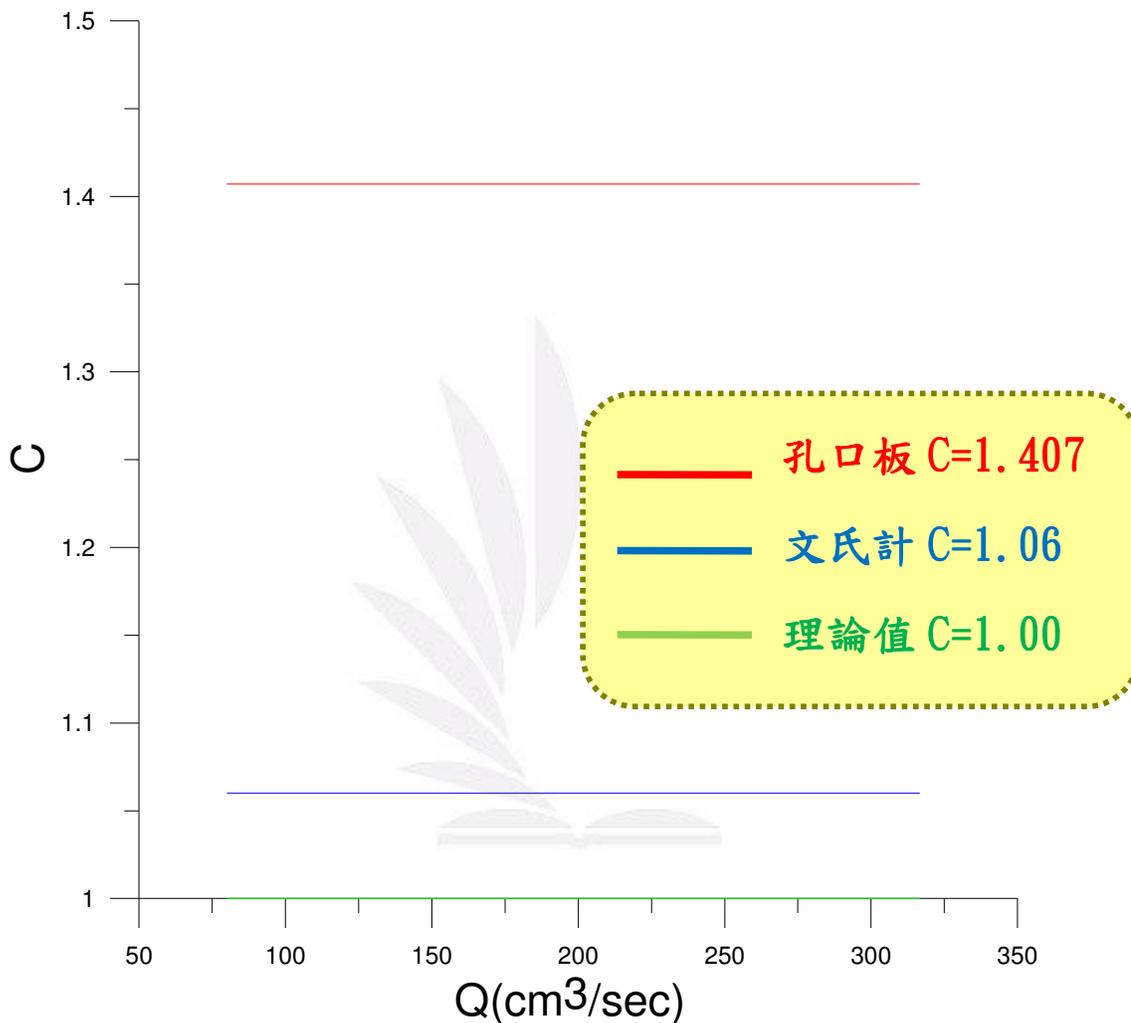
3.將實測流量及由孔口計所測得之流量分別為垂直及水平座標軸，由此探討孔口計的精確度。如果孔口計的誤差·(即實測流量減去孔口計的測值)為零，則數據應該落在45度直線上，而實際上免不了有偏差·因此，利用最小二乘法求數據之直線數值方程式，圖上標示通過原點之45度直線，比較並討論其結果。



圖九 實測流量&孔口板之流量流量關係圖

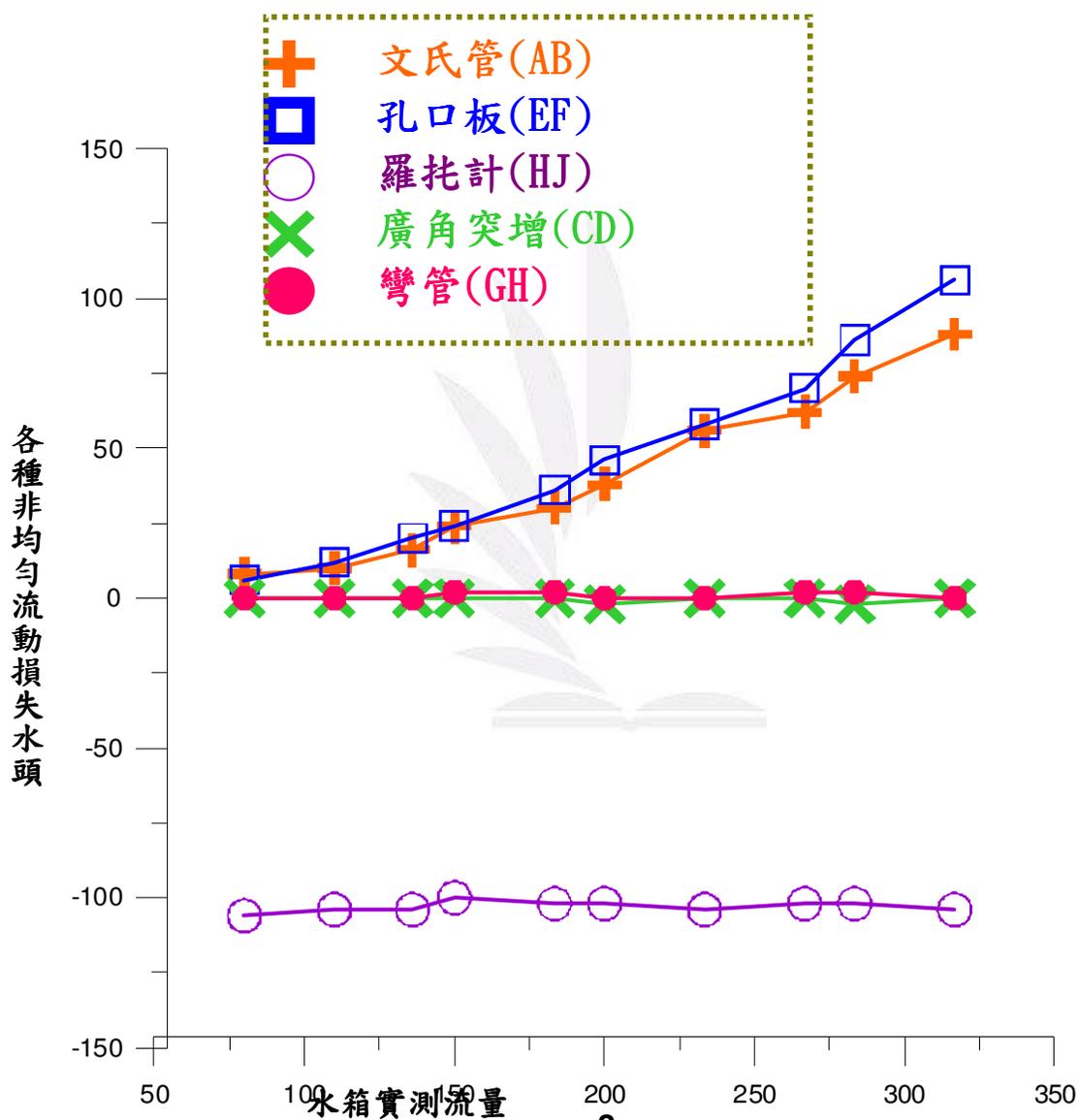
註:Qt:理論值 Qc:實驗值

4.利用方程式(3)及(5)分別求在各種不同流量時之儀器係數C，於方格紙上，以C與Q(實測)分別為垂直及水平座標軸，將各種不同流量之數據繪於同一圖上，同時以不同符號分別表示文氏計及孔口計，其結果是否可顯示出任何傾向，試討論之。



圖十 流量Q與C之三圖比較

5. 管路兩斷面間之水頭損失即等於總水頭之差，因此，比較兩斷面之總水頭差即可了解水頭損失之概況。於方格紙上，以水頭損失及流量分別為垂直及水平座標軸，將文氏計、孔口計、羅托計、廣角突增、90度彎管等五種非均勻流動損失水頭及流量間的關係，於同一圖上以不同符號表示不同非均勻流動損失水頭，比較並討論之。



圖十一 各種非均勻流動損失水頭及流量關係圖

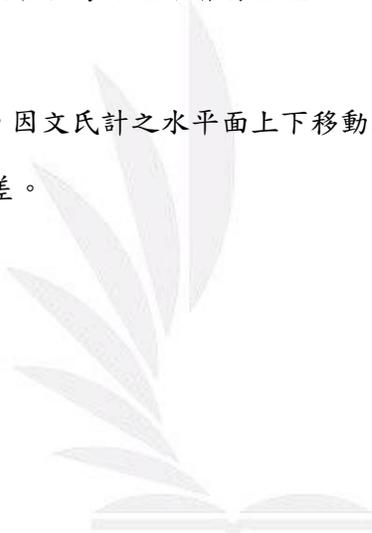
七、 結論與建議

由伯努力方程式推導得到流量的關係式，我們可推斷出流量與壓差成比例。在實驗中我們改變流量大小，分別測量文氏管和孔口管之壓差，利用已知斷面積和流量關係圖算出斜率(C 值)，帶入流量關係式，我們可算出流量，此為利用壓差所算之流量。

再來，以測量到的羅托計高度算出流量，將我們的實驗所算出的數據和水箱的水量去做比較，結果所得流量有些許誤差，但誤差不大。

由觀察實驗數據得知，在文氏管 AB 和孔口板 EF 會有壓差，而廣角突增和彎管沒有壓差，而小管變大管和彎管也不會有壓差。但水流經過孔口板時，壓差會最大。

關於實驗誤差的部份，因文氏計之水平面上下移動不穩定，讀測數據之隊員不易觀測而產生人為小誤差。



八、照片剪影



照片一 管路流量計



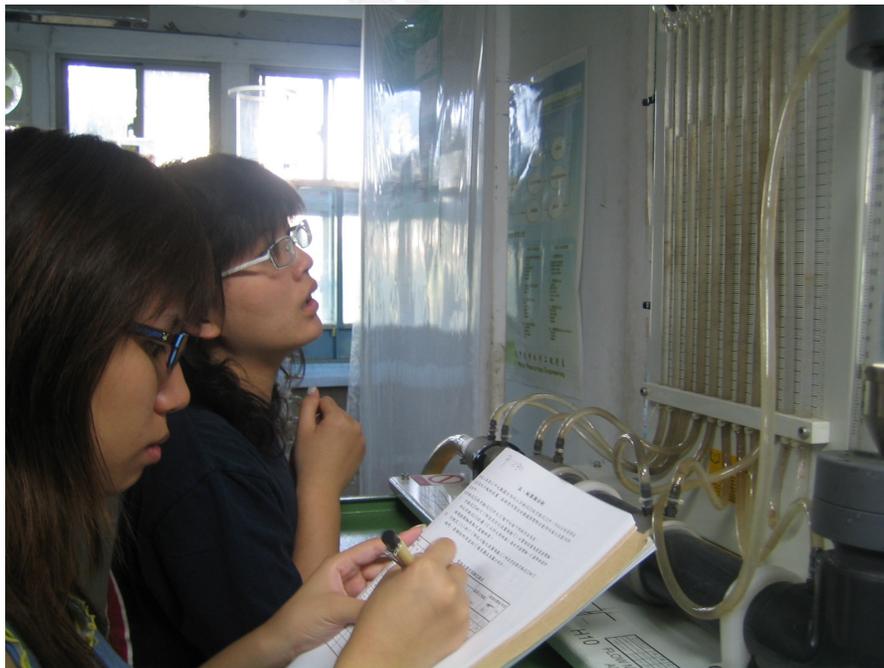
照片二 羅托計



照片三 實驗觀察與紀錄



照片四 流量率定



照片五 實驗觀察與記錄

九、參考文獻

1. Young, D. F., B. R. Munson, and T. H. Okiishi, 1997, A Brief Information to Fluid Mechanics, Chapter 8 - Viscous flow in pipes, pp. 363-367.
2. 流體力學試驗手冊

