

逢甲大學學生報告 ePaper

管路流量計試驗

Pipeline flowmeter test

作者：陳崇益

系級：水利工程與資源保育學系 三甲

學號：D0915001

開課老師：許少華 老師

課程名稱：流體力學試驗

開課系所：水利工程與資源保育學系

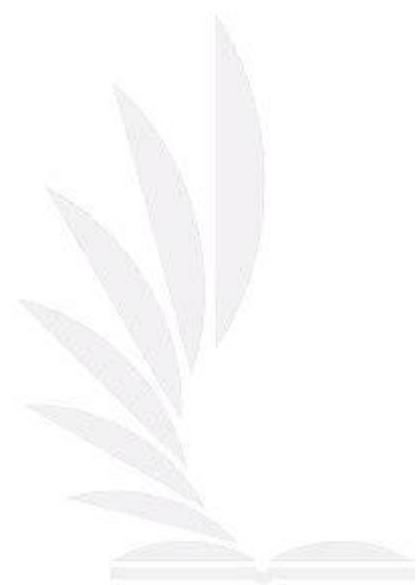
開課學年： 111 學年度 第 1 學期

中文摘要

藉由管路系統中流量的裝置如孔口計、文氏計、羅托計等，量測管徑所產生壓力差，再由此壓力差來計算流量，再利用管徑的壓差討論各管路損失的情形。

開始先開啟水閥，並打開流水閥使管路滿管，等水流穩定後測其流量，調整流量使其產生壓差並記錄數據及流量，最後將實驗數據繪成圖表。利用柏努力方程式及壓差，可得知實驗中各管路流量計之損失。

關鍵字：管路流量計試驗、文氏計、孔口計、伯努力方程式



Abstract

The pressure difference generated by measuring the pipe diameter is measured by the flow devices in the pipeline system, such as orifice meter, Venturi meter and Roto meter, and then the flow is calculated by the pressure difference, and the loss of each pipeline is discussed by using the pressure difference of the pipe diameter.

First, open the water valve, and then open the water valve to make the pipeline full. After the water flow is stable, measure its flow, adjust the flow to make it produce pressure difference, and record the data and flow. Finally, draw the experimental data into a chart. The loss of each pipeline flowmeter in the experiment can be obtained by using Bernoulli equation and pressure difference.

Keyword : pipeline flowmeter test, Venturi meter, orifice meter, Bernoulli equation



目 次

中文摘要.....	1
英文摘要.....	2
一、 試驗原理.....	4
二、 試驗儀器簡介.....	7
三、 試驗之方法與步驟.....	8
四、 試驗數據結果.....	9
五、 問題與討論.....	13
六、 實驗結果與心得.....	15
七、 實驗影響.....	15
參考文獻.....	18



一、 試驗原理

2-1由壓力差計算流量

<以文氏計為例>

如果文氏計在壓力孔口B、C間水頭損失不計，利用伯努利定理：

$$\frac{P}{\gamma} + Z + \frac{V^2}{2g} = \text{總水頭} = \text{常數} \quad (8-1)$$

利用連續方程式：

$$V_B A_B = V_C A_C \Rightarrow V_B = \frac{A_C}{A_B} V_C \quad (8-2)$$

帶入(1)可求得流速V：

$$\left(\frac{P_B}{\gamma} - \frac{P_C}{\gamma} \right) = \frac{(V_C^2 - V_B^2)}{2g} \Rightarrow V_C = \left\{ \frac{2g}{1 - \left(\frac{A_C}{A_B} \right)^2} \left(\frac{P_B}{\gamma} - \frac{P_C}{\gamma} \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (8-3)$$

再將(3)帶入 $Q=VA VB=VCAC$ ：

$$\underbrace{\frac{Q_{BC}}{\text{實測值}}}_{\text{理論值}} = C A_C \left\{ \frac{2g}{1 - \left(\frac{A_C}{A_B} \right)^2} \left(\frac{P_B}{\gamma} - \frac{P_C}{\gamma} \right) \right\}^{\frac{1}{2}} = C A_C \left\{ \frac{2g}{1 - \left(\frac{A_C}{A_B} \right)^2} (h_B - h_C) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (8-4)$$

Q：流量

C：流量係數

A：斷面積

Z：高度

V：斷面積平均速度

g：重力加速度

P：壓力

h：壓力水頭

γ ：流體單位體積重

<以孔口計為例>

利用孔口計上、下游壓力孔口的壓力差，亦可根據伯努利定理計算孔口計流量關係式：

$$Q_{EF} = CA_F \left\{ \frac{2g}{1 - \left(\frac{A_F}{A_E}\right)^2} \left(\frac{P_E}{\gamma} - \frac{P_F}{\gamma} \right) \right\}^{\frac{1}{2}} = CA_F \left\{ \frac{2g}{1 - \left(\frac{A_F}{A_E}\right)^2} (h_E - h_F) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (8-5)$$

(5)與(4)的C值不同，因為孔口計的水頭損失不同，此試驗主要探討方程式(4)與(5)中C值及羅托計圓錐體上升高度與流量間的關係。此外還可利用伯努利定理探討管路中非均勻流動水頭損失

2-2非均勻流水頭損失

<以文氏計為例>

引用伯努利定理於壓力孔口B、C上可知：

$$h_{LBC} = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B - \frac{P_C}{\gamma} + \frac{V_C^2}{2g} + Z_C \text{ 或 } h_{LBC} = h_B - h_C \quad (8-6)$$

<以孔口計為例>

引用伯努利定理於壓力孔口E、F上可知：

$$h_{LEF} = \frac{P_E}{\gamma} + \frac{V_E^2}{2g} + Z_E - \frac{P_F}{\gamma} + \frac{V_F^2}{2g} + Z_F \text{ 或 } h_{LEF} = h_E - h_F \quad (8-7)$$

<以羅托計為例>

在孔口計儀器中，其孔口直徑固定，流體經過孔口後產生一壓差。而在羅托計中並無壓差，然浮標與管壁間流孔則隨流體流量而改變

浮標與管壁間的周隙表面隨浮標上下而改變，即隨流量改變。當流體自流量計底

部進入，自頂部流出，浮標同時被上下二力所作用，若此二力互相平衡，浮標即固定在某一位置，而對照管壁流量刻度，即可知當時流量大小。浮標向下力等於浮標重量減去被浮標所排出液體重量。此向下力同時被流體向上力抵銷。因浮標重量始終保持不變，在平衡時，浮標上下壓力落差亦不便，又因流管內壁製成錐形，上大下小，則使流體通過環形橫斷面積可變者。增加流量後，並不增加浮標上下壓力落差，卻使浮標升至較高位置，於是通過面積增加，此為浮體流量計基本原理。而羅托計上下壓力孔所測得壓力差，其產生主因由於通過浮標周圍高速流所導致垂向拖曳力所致。利用伯努利定理於羅托計上，可知：

$$h_{LHI} = \frac{P_H}{\rho} + \frac{v_H^2}{2g} + Z_H - \frac{P_I}{\rho} + \frac{v_I^2}{2g} + Z_I \text{ 或 } h_{LHI} = h_H - h_I \quad (8-8)$$

<廣角突增>

探討廣角突增損失水頭，可利用伯努利定理於壓力孔口C、D上可知：

$$h_{LCD} = \frac{P_C}{\rho} + \frac{v_C^2}{2g} + Z_C - \frac{P_D}{\rho} + \frac{v_D^2}{2g} + Z_D \text{ 或 } h_{LCD} = h_C - h_D \quad (8-9)$$

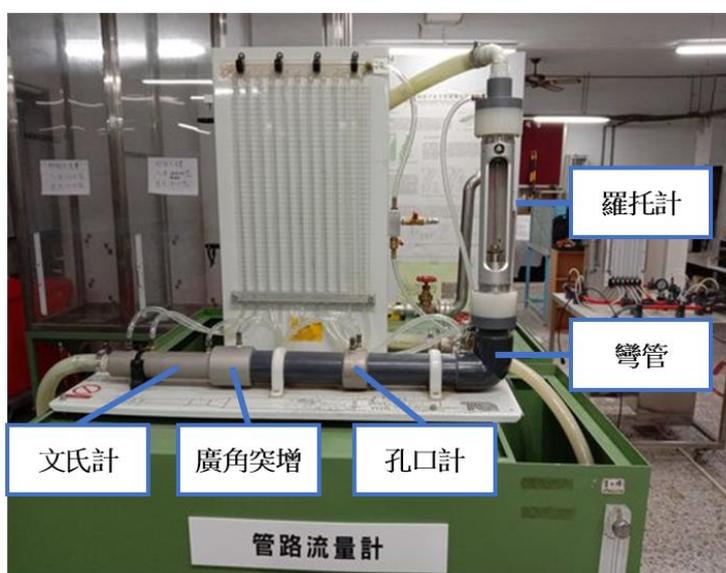
<彎管>

探討彎管損失水頭，需引用利用伯努利定理於壓力孔口G、H上可知：

$$h_{LGH} = \frac{P_G}{\rho} + \frac{v_G^2}{2g} + Z_G - \frac{P_H}{\rho} + \frac{v_H^2}{2g} + Z_H \text{ 或 } h_{LGH} = h_G - h_H \quad (8-10)$$

二、 試驗儀器簡介

本實驗須配合水力實驗台,水自右邊出水口進入儀器後上升,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,可用打氣機注入空氣。儀器之左上端有一流量控制閥門。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。

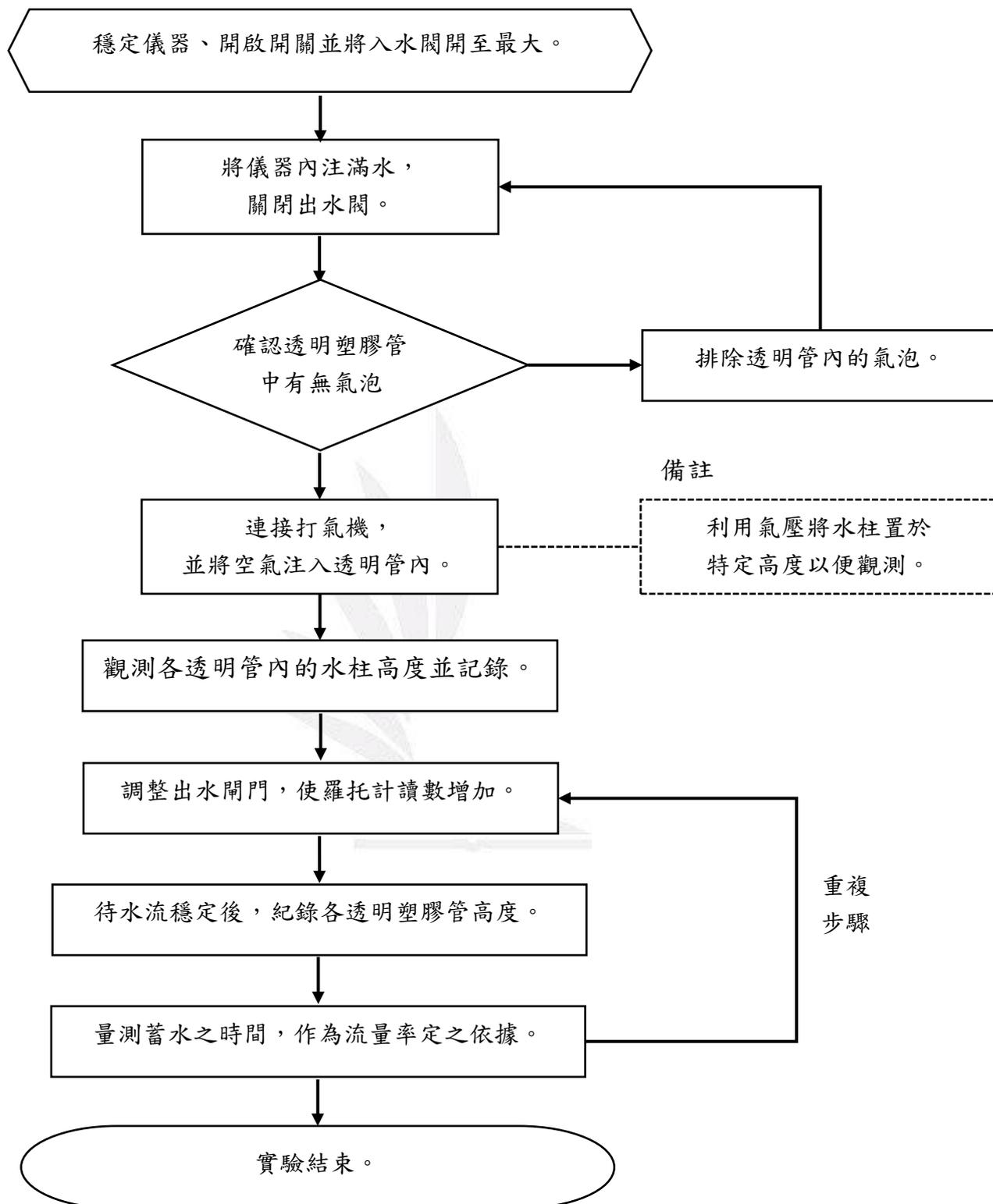


圖一 管路流量計試驗儀器



圖二 打氣機

三、 試驗之方法與步驟



注意事項

1. 注意試驗儀器是否水平。
2. 透明塑膠管路中排除氣泡，避免因氣泡而造成實驗之誤差。
3. 打氣後讓水柱高度維持在同水平高度。
4. 需等待水流穩定後，再開始記錄水柱高度及表格。
5. 紀錄水柱高應以水平觀測，避免因觀測不佳而造成實驗之誤差。

四、試驗數據結果

表 8.1 管路流量計試驗紀錄表

試驗 次數	水柱高(cm)									流量率定	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	蓄水體積 (cm)	時間 (s)
起始	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	#	#
1	25.8	24.2	25	25.2	24.6	24.2	24.2	24.1	12.4	3	71.59
2	26	24	25.4	25.6	25.4	23.8	24.1	24	11.4	3	50.96
3	26.2	23.8	25.6	25.8	25.6	23.6	23.8	23.6	11.2	3	43.82
4	26.4	23.6	25.8	26	25.8	23	23.4	23.2	10	3	39.57
5	27.2	23	26	26.2	26	22	23	22.8	8.6	3	32.56
6	27.8	22.8	26.2	26.4	26.4	22	22.8	22.6	8.2	3	30.41
7	28	22.2	26.4	26.6	26.8	21.2	22.6	22.4	7	3	29.11
8	29	21.6	26.6	26.8	27.2	20	21.2	21	5	3	24.77
9	29.6	20.8	27.2	27.4	28	19	20.4	20.2	2.8	3	22.53
10	31	20	27.8	28	28.4	17.6	19.2	19	0.4	3	20.51

註：流量率定請率定三次再取平均值。

表 8.2 水頭損失紀錄表

試驗 次數	水頭損失 h_l (cm)				
	文氏管(BC)	孔口版(EF)	羅托計(HI)	廣角突增(CD)	彎管(GH)
1	-0.8	0.4	11.7	-0.2	0.1
2	-1.4	1.6	12.6	-0.2	0.1
3	-1.8	2	12.4	-0.2	0.2
4	-2.2	2.8	13.2	-0.2	0.2
5	-3	4	14.2	-0.2	0.2
6	-3.4	4.4	14.4	-0.2	0.2
7	-4.2	5.6	15.4	-0.2	0.2
8	-5	7.2	16	-0.2	0.2
9	-6.4	9	17.4	-0.2	0.2
10	-7.8	10.8	18.6	-0.2	0.2

表 8.3 文氏計、孔口版與水箱之關係表

試驗 次數	理論流量(cm^3/s)		實測流量 (cm^3/s)
	文氏計(Q_{BC})	孔口版(Q_{EF})	
1	86.067	88.996	83.811
2	113.856	177.992	117.732
3	129.101	199.002	136.913
4	142.727	235.462	151.643
5	166.669	281.431	184.294
6	177.432	295.167	197.304
7	197.205	332.993	206.115
8	215.168	377.579	242.196
9	243.435	422.146	266.351
10	268.745	462.438	292.588

表 8.4 管路流量計之各斷面積

位置	直徑(cm)	斷面積(cm ²)
A	2.6	5.309
B	1.6	2.011
C	2.6	5.309
D	5.19	21.156
E	5.19	21.156
F	2	3.142
G	5.19	21.156
H	4.19	13.789
I	4.5	15.904

表 8.5 管路流量計之各流速

試驗 次數	流速 (cm/s)							
	Vb 實	Vc 實	Vd 實	Ve 實	Vf 實	Vg 實	Vh 實	Vi 實
1	41.684	15.786	3.962	3.962	26.678	3.962	6.078	5.270
2	58.555	22.175	5.565	5.565	37.475	5.565	8.538	7.403
3	68.095	25.788	6.472	6.472	43.581	6.472	9.930	8.609
4	75.421	28.562	7.168	7.168	48.269	7.168	10.998	9.535
5	91.660	34.712	8.711	8.711	58.663	8.711	13.366	11.588
6	98.131	37.162	9.326	9.326	62.804	9.326	14.309	12.406
7	102.513	38.822	9.743	9.743	65.608	9.743	14.948	12.960
8	120.458	45.617	11.448	11.448	77.093	11.448	17.565	15.228
9	132.472	50.167	12.590	12.590	84.782	12.590	19.317	16.747
10	145.521	55.109	13.830	13.830	93.134	13.830	21.220	18.397

表 8.6 管路流量計之各流速水頭

試驗 次數	速度水頭 (cm/s)							
	b	c	d	e	f	g	h	i
1	0.886	0.127	0.008	0.008	0.363	0.008	0.019	0.014
2	1.748	0.251	0.016	0.016	0.716	0.016	0.037	0.028
3	2.363	0.339	0.021	0.021	0.968	0.021	0.050	0.038
4	2.899	0.416	0.026	0.026	1.188	0.026	0.062	0.046
5	4.282	0.614	0.039	0.039	1.754	0.039	0.091	0.068
6	4.908	0.704	0.044	0.044	2.010	0.044	0.104	0.078
7	5.356	0.768	0.048	0.048	2.194	0.048	0.114	0.086
8	7.396	1.061	0.067	0.067	3.029	0.067	0.157	0.118
9	8.944	1.283	0.081	0.081	3.664	0.081	0.190	0.143
10	10.793	1.548	0.097	0.097	4.421	0.097	0.229	0.172

表 8.7 管路流量計之各速度水頭差

試驗 次數	速度水頭差 (cm)				
	文氏管(BC)	孔口版(EF)	羅托計(HI)	廣角突增(CD)	彎管(GH)
1	0.759	-0.355	0.005	0.119	-0.011
2	1.497	-0.700	0.009	0.235	-0.021
3	2.024	-0.947	0.012	0.318	-0.029
4	2.483	-1.161	0.015	0.390	-0.035
5	3.668	-1.715	0.023	0.575	-0.052
6	4.204	-1.966	0.026	0.660	-0.060
7	4.588	-2.146	0.028	0.720	-0.066
8	6.335	-2.962	0.039	0.994	-0.090
9	7.662	-3.583	0.047	1.202	-0.109
10	9.245	-4.323	0.057	1.450	-0.132

表 8.8 管路流量計之位頭差

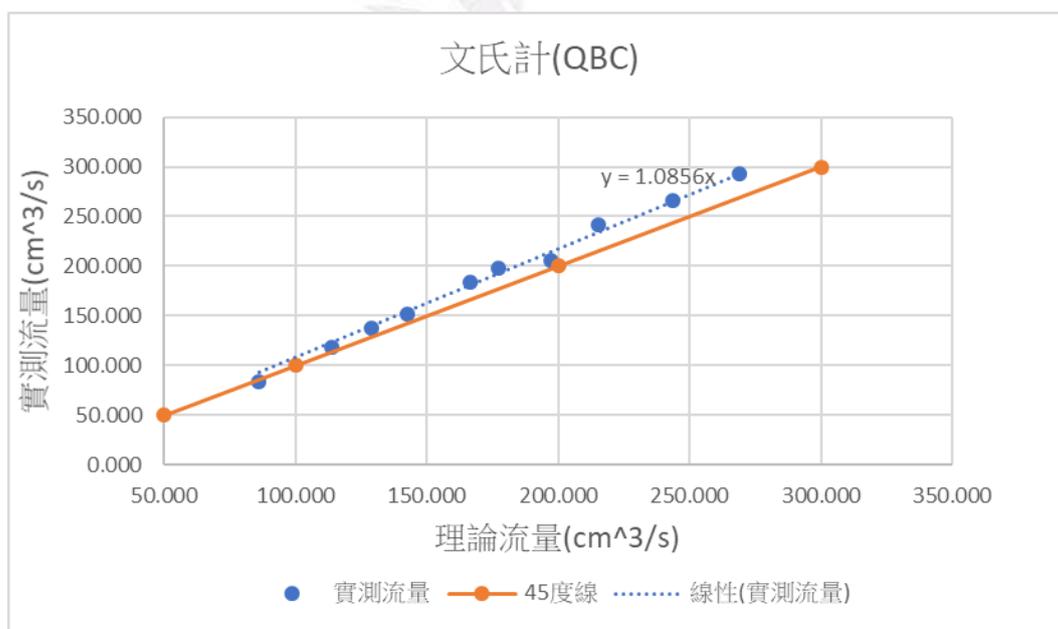
位頭差(cm)				
文氏管(BC)	孔口版(EF)	羅托計(HI)	廣角突(CD)	彎管(GH)
0	0	-41	0	-11

表 8.9 管路流量計之總損失

試驗 次數	總損失 (cm)				
	文氏管(BC)	孔口版(EF)	羅托計(HI)	廣角突增(CD)	彎管(GH)
1	-0.041	0.045	-29.295	-0.081	-10.911
2	0.097	0.900	-28.391	0.035	-10.921
3	0.224	1.053	-28.588	0.118	-10.829
4	0.283	1.639	-27.785	0.190	-10.835
5	0.668	2.285	-26.777	0.375	-10.852
6	0.804	2.434	-26.574	0.460	-10.860
7	0.388	3.454	-25.572	0.520	-10.866
8	1.335	4.238	-24.961	0.794	-10.890
9	1.262	5.417	-23.553	1.002	-10.909
10	1.445	6.477	-22.343	1.250	-10.932

五、問題與討論

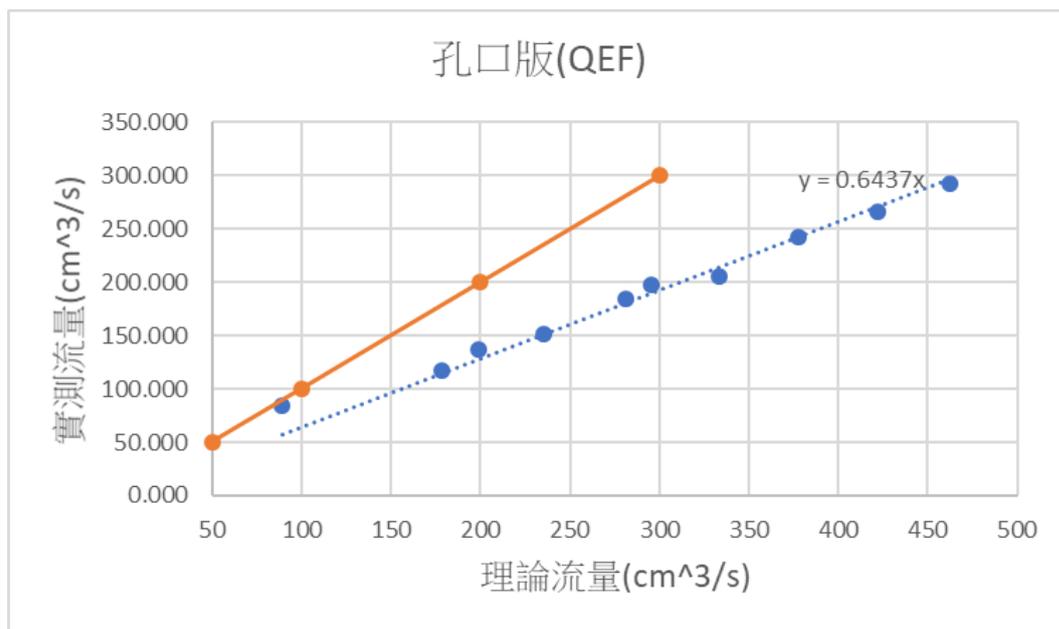
1. 決定文氏計流量係數 C ，將數據繪成圖表，以實測流量 Q 為垂直座標，理論流量為水平座標。



圖上之數據斜率越接近 45 度線，代表實測值與理論值相近。

因此推論文氏計水頭損失影響較小。

2. 決定孔口計之流量係數 C

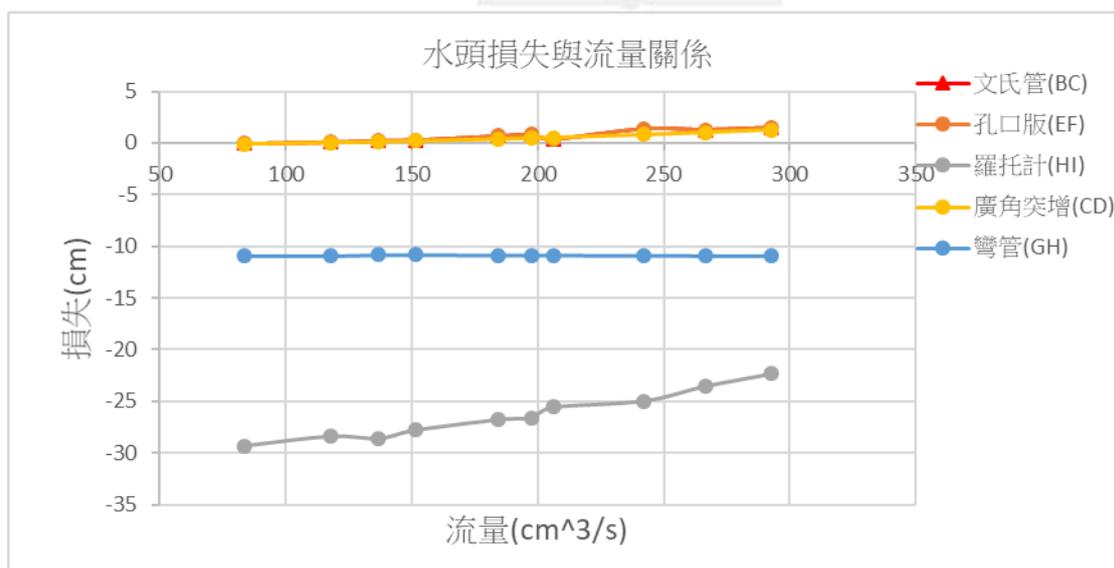


圖上之數據斜率越遠離 45 度線，代表實測值與理論值相差比較多。

因此推論孔口計水頭損失影響較大。

3. 若管徑不變(即流速不變)，管路兩斷面之間水頭損失=總水頭之差，繪製圖表

以水頭損失為垂直座標，流量分別為水平座標，將文氏計、孔口計、羅托計、廣角突增、彎管等五種非均勻流損失水頭和流量之間關係討論。



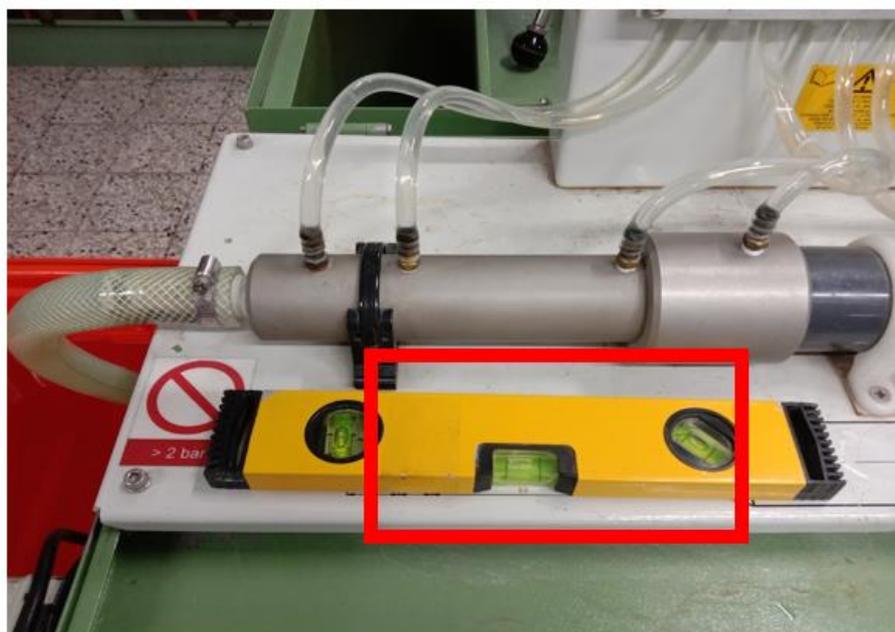
流速不變，儀器在同一位置，代表高程不變，損失即為壓差。

羅托計在水頭損失有較明顯上升的幅度，而廣角突增、彎管幾乎沒有什麼損失。

六、 實驗結果與心得

陳崇益：流體流經文氏管內的漸擴區等不同截面大小的區域，連結這些區域的壓力計便產生壓力差，測出壓力差即可求出流量。在讀各管流量的時候，水位會有些微的上下起伏不定，容易影響判斷，造成誤差，在做結報代公式的時候，不知道是因為我公式帶錯，還是其他原因，導致實驗數據有差異。

七、 實驗影響



圖三 水力實驗台水平量測



圖四 水力實驗台水平量測

水力實驗台的水平右側有高低差，氣泡往右偏，可能會造成實驗的誤差。



圖片五 為羅托計(HI)測量

量測 I 的直徑，推測長度約為 4.5cm

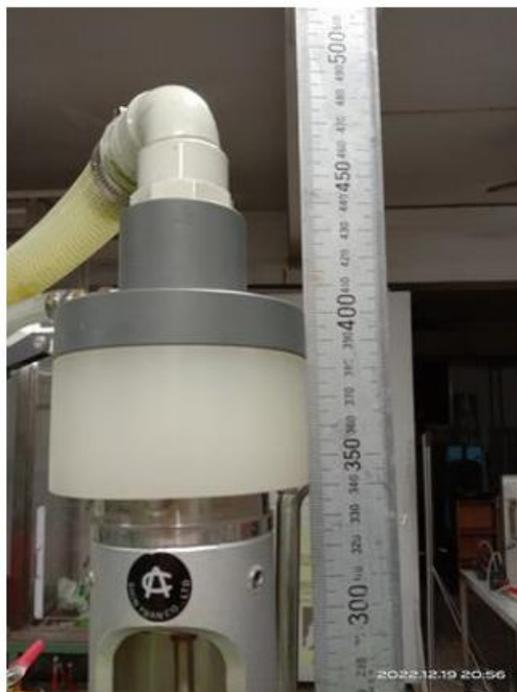
量測 H 的直徑，推測長度約為 4.19cm



圖片六 為羅托計(HI)測量



圖片七 為羅托計(HI)的位頭差



圖片八 為彎管(GH)的位頭差

圖片七 為羅托計(HI)的位頭差，推測長度約為 41cm

圖片八 為彎管(GH)的位頭差，推測長度約為 11cm

參考文獻

1. 許少華(2008)，流體力學試驗手冊，逢甲大學出版社。

