

第六章 孔口實驗

一、實驗目的

1. 探討孔口的流量公式，分析實驗數據與理論值的差異。
2. 探討流量係數 C_d 、 C_v 與 C_c 的值是否符合 $C_d=C_v*C_c$ 的關係。
3. 分析不同孔口面積對束縮斷面的影響。

二、實驗設備

(一) 孔口試驗台

- | | |
|-----------------------|---------|
| 1 蓄水箱 | 3 皮托管 |
| 2 出水孔口板 | 4 水箱壓力計 |
| (孔口直徑 8.14mm / 1.3cm) | 5 出水壓力計 |

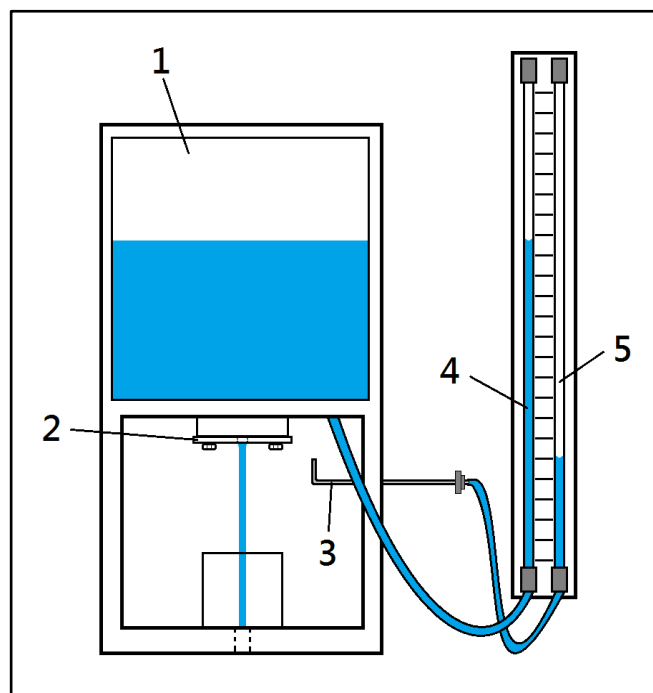
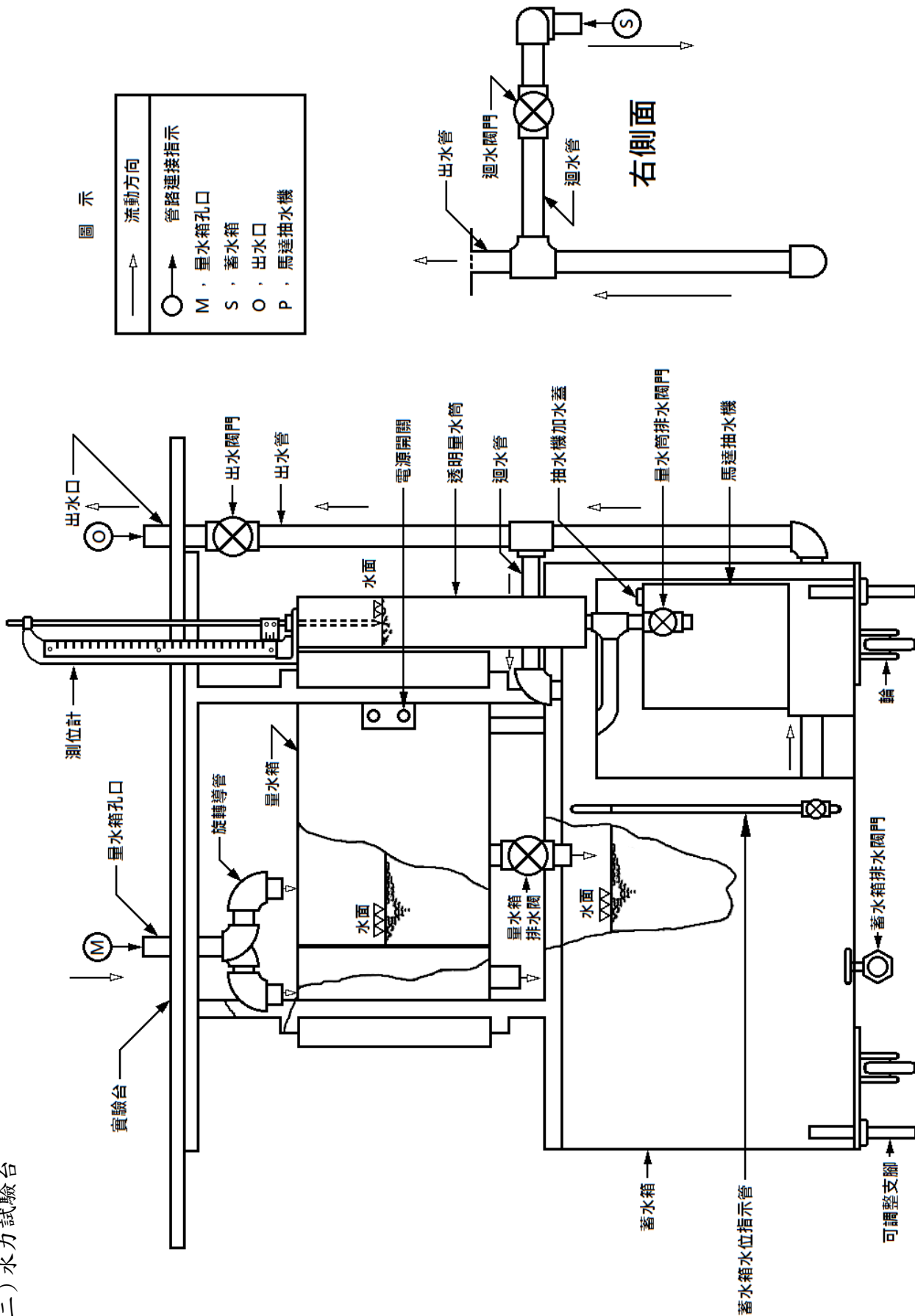
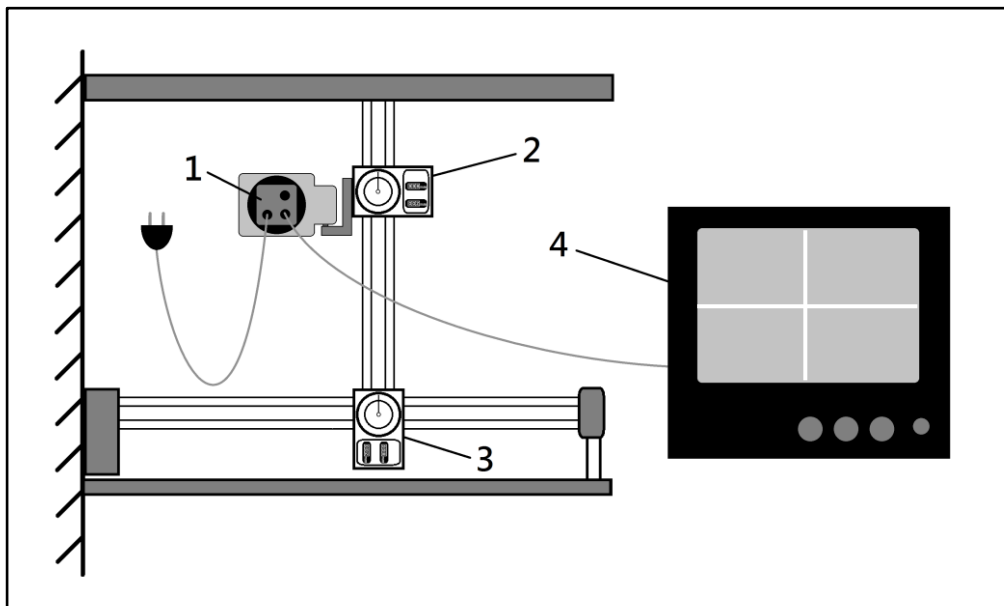


圖 6-2 (二) 水力試驗台



(三) 流體觀測鏡

- | | |
|------------|------------|
| 1 鏡頭 | 3 X 軸距離量測計 |
| 2 Y 軸距離量測計 | 4 觀察螢幕 |



三、實驗原理

流體流經孔口時，實際上所測得的流量比在理想情況下所測得的流量小得多，而理想情況是指能量保持不變。如圖 6-1 的示意圖中，假設圖中的水箱體積相當大，因此在水箱內，水位下降的速度非常緩慢，可略而不計。在孔口的附近，由於流體向孔口中心逐漸增加速度，流線(Stream line)彎曲，自孔口後，噴流的斷面積也漸漸縮小，這種遞減將維持一小段距離，大約等於孔口半徑，則此後的噴流斷面積就不再改變，此處稱為束縮截(斷)面(Venna contrata)。很明顯地在孔口噴流所受的壓力並不等於大氣壓力，而是大於大氣壓，但自束縮斷面後，噴流所受的壓力即為大氣壓了。

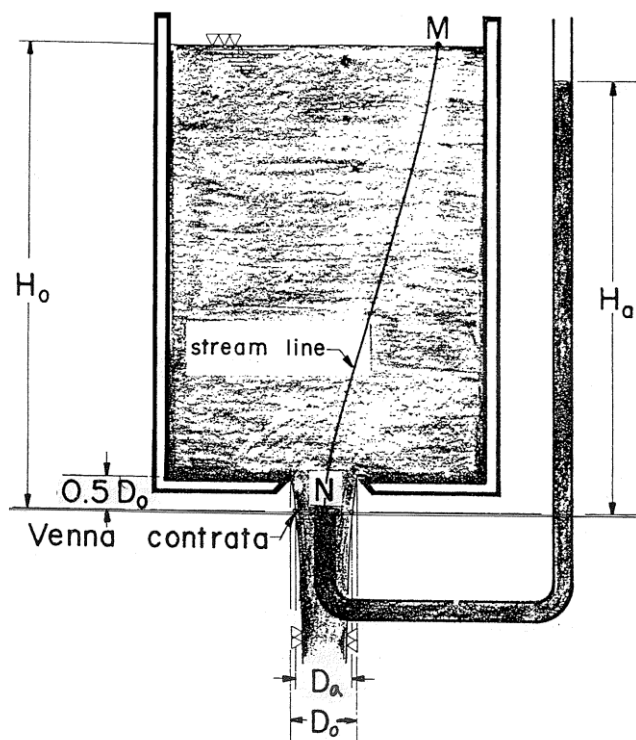


圖 6-1 孔口流示意圖

其次，考慮在同一流線上，水面上與束縮斷面上的兩點 M 與 N，如果能量損失不計，則由柏努利原理 (Bernoulli theorem) 可得知

$$\frac{V_m^2}{2g} + \frac{P_m}{\gamma} + Z_m = \frac{V_n^2}{2g} + \frac{P_n}{\gamma} + Z_n \quad (6-1)$$

式中 V, p, z 分別代表速度、壓力與高程，而右下字母代表斷面之位置；g 與 γ 分別為重力加速與流體之單位體積重。上式中 $P_m = P_n$ 均為大氣壓，同時 V_m 可略而不計，令

$$H_0 = Z_m - Z_n \quad (6-2)$$

式中 H_0 代表束縮斷面至靜水箱內水面間之高度，可經由測位計測得。所以，根據上述理想流體的假設下，在束縮斷面，理想流體之速度應為

$$V_0 = \sqrt{2gH_0} \quad (6-3)$$

而實際上，在束縮斷面之速度並不等於 $2gH_0$ ；由於能量損失之緣故，致使在束縮斷面之真正速度 V_a (Actual velocity) 比 $2gH_0$ 小，但其大小可用皮托管 (Pitot tube) 或用衝擊管 (Impact tube) 測得。假設在停滯點上 (Stagnation point) 之水位高 (自束縮斷面量起) 為 H_a ，則 V_a 應為

$$V_a = \sqrt{2gH_a} \quad (6-4)$$

因此， $H_0 - H_a$ 代表能量損失或水頭損失 (Head loss)。其次，在束縮斷面，真正 (實際) 之流速小於理想流體之流速，而其間的比值定義為速度係數 (Velocity coefficient) C_v ，即

$$C_v = \frac{V_a}{V_0} = \frac{H_a}{H_0} \quad (6-5)$$

同理，在束縮斷面之面積 A_a 與孔口之面積 A_0 也不相等，其間的比值也以一係數來衡量，即為一般俗稱的收縮係數 (Contraction coefficient)

$$C_c = \frac{A_a}{A_0} \quad (6-6)$$

最後，又定義流量係數 (Discharge coefficient) C_d 為實際 (測) 流量 Q 與理想流量 Q_0 之間的比值，即

$$C_d = \frac{Q}{Q_0} \quad (6-7)$$

而孔口的理想流量為

$$Q_0 = V_0 A_0 = (2gH_0)^{\frac{1}{2}} A_0 \quad (6-8)$$

式 (6-8) 並不計任何方式的水頭損失，所以實際上流經孔口的流量 Q 比理想流量 Q_0 小。流量係數就是代表這些複雜而且不易分析的種種因素。無論流量係數的多寡，由式 (6-7) 與 (6-8) 可得知實際 (測) 流量 Q 與勢位頭 H_0 的平方根成正比，即

$$Q = C_d (2gH_0)^{\frac{1}{2}} A_0 \quad (6-9)$$

或

$$\frac{Q}{A_0} = C_d (2gH_0)^{\frac{1}{2}} \quad (6-9')$$

展示於圖上，實際 (測) 流量 Q 與勢位頭 H_0 間的關係應該趨近於式 (6-9') 所示的形式。同時根據式 (6-9') 的形式，由實驗數據的分析中，也可求得流量係數 C_d 的值，這是一般計算流量係數的方式。此外，利用上述各種係數的定義，同樣也可計算流量係數。將式 (6-9) 與 (6-8) 帶入式 (6-7)，並根據式 (6-5) 與 (6-6) 的定義，可得

$$C_d = C_v \times C_c \quad (6-10)$$

速度係數 C_v ，收縮係數 C_c ，與流量係數 C_d ，可分別由式 (6-5)、(6-6)、(6-9) 計算而得。

四、實驗步驟

1. 在蓄水箱下方壁上裝孔口板。
2. 關閉蓄水箱及量水筒之排水閥門。
3. 按下水力試驗台之電源開關"ON"鈕(黑色)，啟動抽水機。
4. 調整流量，待蓄水箱內水位平衡後，記錄數據 H_0 。
5. 推動皮托管，使量測點位於水流下方，紀錄數據 H_a 後，拉出皮托管。
6. 關閉下方量水箱出水口，量測累積 30 秒之蓄水高度。
7. 調整觀測鏡之 Y 軸，使螢幕上的水平線對齊孔口出水面後，將刻度歸零。
8. 將 Y 軸向下移動 $1/2 D_0$ 。

9. 調整觀測鏡之 X 軸，使螢幕上的垂直線對齊水流一側後，將刻度歸零。
10. 移動 X 軸，使垂直線對齊水流的另一側，紀錄數據 D_a 。
11. 移動 Y 軸，量測 5 組高度的水流直徑。
(5 組高度範圍於 $1/2 D_0$ 上及下，高度間隔相同)
12. 重複步驟 4~11，共量測 3 種流量。
13. 按下水力試驗台之電源開關"OFF"鈕(紅色)，關閉抽水機。
14. 打開蓄水箱之排水閥門，排出蓄水箱的水後，更換孔口板。
15. 重複步驟 2~13。

五、問題討論

1. 束縮斷面的定義為何？
2. 由數據分析，不同流量對孔口出水水流有何影響？
3. 若更換孔口板時，蓄水箱內仍有水，會發生什麼情形？

六、實驗表格

表一

試驗次數	孔口直徑 D_0	蓄水時間(s)	蓄水高度h	H_0	H_a	與出水口距離 (Y軸)	水流寬 (X軸)
1							
2							
3							

試驗次數	收縮係數 C_c	理想流速 V_0	理想流量 Q_0	實際流量 Q	流量係數 C_d
1					
2					
3					

表二

試驗次數	孔口直徑 D_0	蓄水時間(s)	蓄水高度h	H_0	H_a	與出水口距離 (Y軸)	水流寬 (X軸)
1							
2							
3							

試驗次數	收縮係數 C_c	理想流速 V_0	理想流量 Q_0	實際流量 Q	流量係數 C_d
1					
2					
3					