

渠道水力學講義

第一回

504822-1



社團
法人
考
試
證
照
考
試
升
學
考
試
檢
定
考
試

考
友
社

出版
發行
考
試
證
照
考
試
升
學
考
試
檢
定
考
試

第一講 流體流動之基本概念

◎ 命題重點 ◎

一、定義

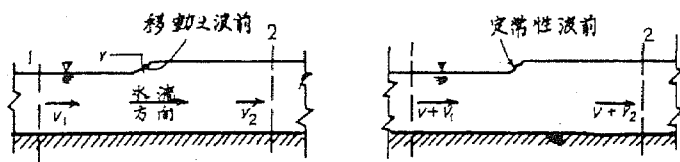
1. 流線 (Streamline): 流線為在任何瞬時時間內, 流體分子流動之軌跡, 由於無分流 (Flow Component) 橫越 (Across) 流線, 故在流線上每一點之合成流速 (Resultant Fluid Velocity) 之方向, 為在該點切於流線之方向。

2. 流管 (Streamtube): 流管為想像中之一束流線 (A Bundle of Streamlines), 而流管之管壁即為鄰接之流線所組成者, 故亦不可能有流體橫越流管。

根據上述, 可知流線與流管實質上並無存在, 而係觀察研究者對流動之流體假想之幾何圖形。

3. 定量流 (Steady Flow) 與不定量流 (Unsteady Flow): 流量不隨時間而改變者稱謂定量流, 否則為不定量流。所謂定量流或不定量流, 並非絕對之定量或不定量, 而與觀測者所在位置之不同而異。例如河岸坍塌, 岸土攔阻河水, 而使河水發生向上游之湧浪 (Surge Wave), 如圖 (1-1), 湧浪為一移動之波前 (Wave Front), 水深度有急劇之變化; 另一例則為暴潮 (Tidal Bore) 現象, 亦即海潮侵入河流時所發生之現象。

如圖示, 觀測者如站立在河岸上, 將可看到湧浪為不定量流, 因當湧浪經過觀測者時, 河流已改變其水深與流速。但如觀測者隨湧浪而走動, 在湧浪開始減衰之前當可見其為定量流, 因觀測者與定常性 (Stationary) 之波前齊平, 故在其上游或下游河水之流速與水深均不改變 (設河流為均一之斷面與比降), 而為定量流。



(a) 觀測者在岸上所

見之不定量流。

(b) 觀測者隨湧浪而移動

時所見之定量流。

圖 (1-1) 對湧浪之不同觀點，可認為係不定量流，亦可認為係定量流。

實際上顯然有甚多情形，並非依觀測者之觀測點而定，而由觀測者逕行分類為定量流或不定量流；例如河流中洪水波向下游之傳播，觀測者站立在河岸，即可清晰觀察到此種不定量流之現象；如另一觀測者隨洪水波向下游前進，並保持前進快慢與洪峯 (Peak) 同速，但由於洪峯向下游移動時洪水流量向下游逐漸減小之事實，即不能認為係定量流之情形，而必須以不定量流處理之。

定量流時之，流線即為流體中個別分子連續前進之途徑 (Path)，但於不定量流，則前進之途徑即不再成為流線，是以流線與途徑線 (Pathlines)，顯然有所不同。

4. 等速流 (Uniform Flow) 與不等速流 (Nonuniform Flow): 嚴格言之，流體流動時流速之大小及方向保持不變者為等速流，反之為不等速流；通常所謂之等速流多指水流之方向不變。例如在均一渠道斷面之水流，沿渠段所有斷面處之平均流速與水深均保持不變，雖然在同一斷面之流速分佈並不相等，亦稱為等速流。

二、連續性

考慮一定量流通過流管之情形，由於無水流橫越流管之邊壁，並因流體無增加亦無減少，故流體必須自流管之一端進入而至另一端流

出，即相等之流率（Rate）。流率如以質量轉換（Mass Transfer）表之，並取英制，其單位應為司拉格（Slugs）每秒。如流體為不可壓縮性，流體密度保持不變，流率則可解釋為體積轉換（Volumetric Transfer），而以每秒立方呎表示，亦即通常所用之流量（Discharge）。現因通過某一斷面之流量為 $V \cdot A$ ， A 為斷面積， V 為垂直該斷面之平均流速；取下標(1)與(2)分別為流管上下游之兩端點，則

$$Q = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \quad (1-1)$$

此式即為不可壓縮流體，在定量流時之連續方程式。

流管觀念最普通之應用，實際上在於應用於全部水流之區域，因此流管之邊界即為管道或河渠之邊壁，當渠道分成若干支渠（Branches），其輸運之流量分別為 Q_2, Q_3, \dots, Q_n ，則連續方程式可寫為下式：

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n \quad (1-2)$$

Q_1 為支渠上游主渠段中之流量。

(1-1) 式及 (1-2) 式均為適用於不可壓縮性流體之方程式，係指液體而言，氣體則為例外。

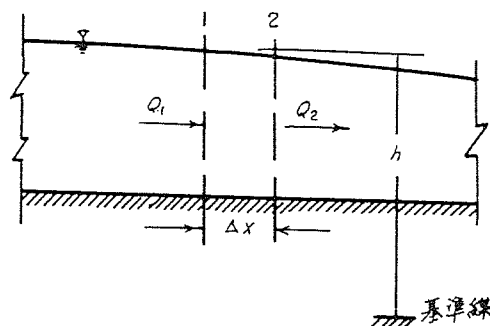


圖 (1-2) 連續方程式示意簡圖。

應用連續性原理於不定量之渠流，則相當困難，不定量流包含有

許多變化之情形，如流速之增加及流線之變易。但在渠流中，可以視為僅有一種困擾之問題，即水面之變化，因此吾人可考慮此渠流為一包含渠道全斷面之流管研討之，而使此項問題簡化，如圖（1-2）之渠段中為不定量流，而取其中一短段 ΔX 研究之：

在(1)及(2)兩斷面之流量並非相等，兩流量之差為：

$$Q_2 - Q_1 = \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot \Delta X$$

由圖示及上式，可知在此區域之水量為逐次減小，由於 Q 沿 x 方向隨時改變，故以偏微分法處理之。

如 h 為水面在基線以上之高度，則(1)與(2)兩斷面間水體積之減率（或增率）為：

$$B \frac{\partial h}{\partial t} \cdot \Delta X$$

上式中 B 為水面寬度。以上兩式大小應相等，而符號相反，故有：

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (1-3)$$

三、運動方程式

1. 一般性質

依據牛頓第二運動定律：

$$F = ma \quad (1-4)$$

ma 為物理學中工作方程式（Working Equation）之主要部份，如將（1-4）式之兩側均乘以平行於作用力方向之距離 S 並積分之，則

精選試題

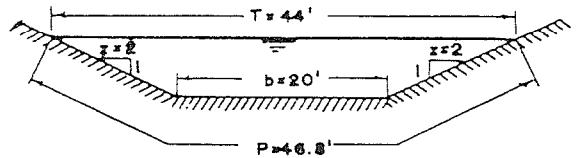
【題一】：計算輸運水量為 400 cfs 梯形渠道之臨界水深與臨界流速。渠道斷面形式如圖 (5-2)。

[解] 梯形斷面之水力深度與水面積以水深 y 表之為：

$$D = \frac{y(10+y)}{10+2y}$$

$$A = y(20+2y)$$

流速 $V = Q/A = \frac{400}{y(20+2y)}$ 5-2 渠道斷面之尺寸表示法



將上式之 D 及 V 代入 (4-20) 式，並予化簡：

$$2,484(5+y) = [y(10+y)]^3$$

以逐步試差法解之，得 $y_c = 2.15$ 呎，此即為臨界水深，相當之水面積 $A_c = 52.2$ 平方呎，臨界流速 $V_c = \frac{400}{52.2} = 7.66$ 每秒呎。

【題二】：應用臨界渠流之原理，導引一流過寬頂堰之流量公式。

解：考慮堰頂斷面處有臨界渠流發生，在此斷面處之水深 $y_c = 2(V_c^2/2g) = H_c/1.5$ ，即 $V_c = \sqrt{gH_c/1.5}$ ， H_c 為此斷面處之比能，每單位堰寬之流量 q 為

$$q = V_c y_c = \frac{2}{3} H_c \sqrt{\frac{2}{3} g H_c} = 3.09 H_c^{1.5} \quad (5-17)$$

此式即為理論之流量公式，式中 H_c 由於臨界斷面之位置難以控制，故不易固定；為達實用之目的，此式通常寫為 $q = CH^{1.5}$ ， H 為堰頂以上之上游水位高度，

如在此寬頂堰下游端有一自由跌流，則上式可以跌緣處之水深 y_0 表之； y_0 則甚易量得，由於 $y_c = 1.4y_0$ ，則方程式為：

$$q = 9.39 y_0^{1.5} \quad (5-18)$$

由試驗證明，當寬頂堰上水頭大於堰長之 1.5 倍時，自由跌流之水舌，則有分離現象 (Detached) 與銳緣堰頂有相似之情形。

【題三】：設計一巴歇耳量水槽，量計渠道中輸運之流量 20cfs，此渠道為有適中之坡度 (Moderate slope)，渠中水深為 2.5 呎。

解：此已知之流量可以各種適宜尺寸之巴歇耳量水槽量計之，但最佳之選擇，應為實用而經濟之尺寸。

設取用 $W = 4$ 呎喉徑， $H_b/H_a = 0.7$ ，由 $Q = 20$ cfs，並用 (5-15) 式計算，得 $H_a = 1.15$ 呎，而 $H_b = 0.81$ 呎。

在 70% 之浸沒度時，喉徑處之水面 H_b 高度幾與尾水面齊平，此情

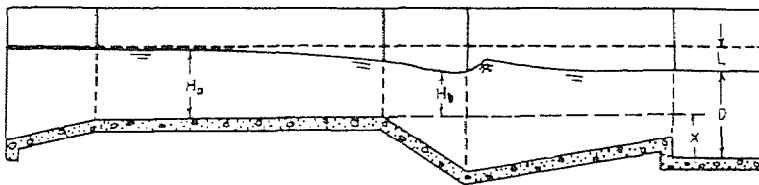


圖 5-3 巴歇耳量水槽各部相對高度及上下游水頭 H_a 、 H_b 剖視圖

況下之渠流如圖 (5-3)，尾水深度 $D = 2.5$ 呎，槽頂高出渠底高度 $X = 2.5 - 0.81 = 1.69$ 呎

由圖 (5-4 a)，當 $H_b/H_a = 0.7$ ， $Q = 20$ cfs 及 $W = 4$ 呎時之水頭損失為 0.43 呎，故量水槽上游之水深度應為 $2.50 + 0.43 = 2.93$ 呎。同理試用 2 呎及 3 呎之量水槽，求出槽頂高度分別為 1.53 呎及 1.23 呎，上游水深度分別為 2.98 呎及 3.12 呎。

在決定採用最實用之水槽尺寸時，必須檢驗渠道之出水高度 (Freeboard) 以及渠流通過閘門引起水位上升之影響。如三者均能適應此情況，則 2 呎之量水槽由於其尺寸小，當為最經濟之尺寸。但當考慮渠道之寬度時，最終之選擇可能以 3 呎或 4 呎之量水槽為佳，因可節省渠道與量水槽接引時兩側較長之翼牆 (Long Wing Walls)，