明渠水力學

吳持恭 著

龍門聯合書局印行

序

中國人民，幾千年來，不但受洪水的災害，且受旱災的痛苦。 現在，我們的國家已經走上了建設的道路，生產建設已成爲今後的中心任務，而水利建設正是生產建設的中心環節。 只有把農民從水的災難中解救出來，並保證農業生產的發展，才能解放農村的生產力，改善人民的生活。 只有這樣，我們才能創造最基本的條件，來建設工業化的新中國。

水利工程師要想完成這樣艱巨的任務，必需先把自己的科學水平提高一步。 過去，設計明渠時，都是應用等速流的原理來計算，但事實上，無論人工的渠道或天然的河流，很少是等速流的。 若把變速流當作等速流來設計，差誤很大，例如本書第 37 例，渠道中的流量，若應用等速流來計算，比實際上最大可能流量少了一倍。 所以今天的水利工程師應學會應用變速流的原理來設計水工結構，這樣，才能使我們的設計更符合於實際，更能保證我們工作的勝利完成。 這就是著者寫這本書的目的。

本書共分十五章，全部採用公制。 第一章爲緒論，第二章爲等速流原理的概述，自第三章至第十四章爲定量變速流的原理及應用，第十五章爲變量變速流。 內容力求精簡，每一原理敍述完畢，均舉以實例，俾讀者可以深切了解各原理的應用。

本書適用作大學水利系或土木系水利組的教本，並可作爲研究院學生及水利工程師的參考書籍，及對水利有興趣者的進修資料。 著者因鑒於目前的需要，將數年來研究的心得，於短期內寫成此書。 現在匆促付印，書中難免有錯誤或遺漏的地方，尙希各專家不吝指正。

一九五一年一月吳持恭於雲南大學

目　次

第十四章 河灣及橋墩對水流的影響

變量變速流

第十五章 變量變速流

附表

第一章　緒　論

1-1 明渠中的水流　如天然的河流，人工的渠道，及未流滿的水管等，其水流表面所受的壓力爲大氣壓力者，統稱爲明渠。明渠中的水流，因所具的水力因素不同，其流態亦異。若流經渠槽的流量固定不變，則沿槽各斷面上的水位必保持不變，此種水流，稱爲定量流。若流經渠槽的流量因時而變，則沿槽各斷面上的水位亦必因時而變，此種水流，稱爲變量流。

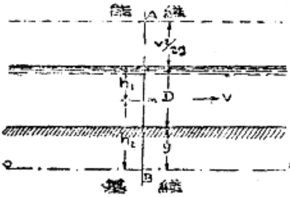
若渠槽既平直，而沿槽各斷面的大小、形式、及底坡又均相等者，則該渠槽稱爲均勻渠槽。均勻渠槽中的定量流，沿槽各斷面的水深必相等，卽流經任何斷面上的流速均相等，此種水流，稱爲等速流。若渠槽底坡或斷面有變化時，雖其水流爲定量流，而沿槽各斷面的水深不等，則沿槽各斷面上的平均流速不相等，此種水流，稱爲變速流。

等速流的水面必與渠底平行，而變速流則否；等速流必爲定量流，而變速流可爲定量流，可爲變量流。

1-2 水流所具的能量　如第1圖所示，渠槽的水深爲 D，今有水點 m，在水面下 h_1 處，在基線上 h_2 處，且其重量爲 W，則該水點對基線0–0而論，所具的位能爲 Wh_2，因水壓所生的位能爲 Wh_1。假設斷面 AB 上任何一點的流速均等於平均流速 V，則水點 m 所具的動能爲$W\left(\frac{V^2}{2g}\right)$。故水點 m 所具的總能量爲：

$$E_T = W\left(h_1+h_2+\frac{V^2}{2g}\right) \tag{1}$$

式中h_1+h_2之值，不因 m 點的位置而變，且 m 點在斷面 AB 上任何處的流速均爲平均流速V，故在斷面AB上，無論水點 m 的位置如何，其總能量不變。若應用於流量 Q，並假設水的單位重量爲 w，則在任



第 1 圖

何斷面上，對基線 0-0 而論，水流所具的總能量爲 $wQ\left(D+y+\frac{V^2}{2g}\right)$. 每單位重量的水所具的能量，稱爲絕對水頭，若用 H_a 表之，則

$$H_a=D+y+\frac{V^2}{2g} \tag{2}$$

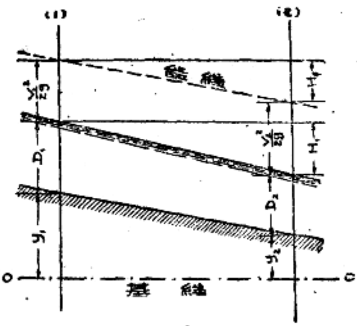
任何斷面上，水流所具的能量，最簡便的表示法，莫若令基線通過該斷面的渠底，卽 (2) 式中的 $y=0$. 水流所具的能量以此種方法表示者，叫做能率，恆用 E 表之，

$$E=D+\frac{V^2}{2g} \tag{3}$$

由 (3) 式可知：任何斷面上，水流所具的能率必等於其水深與流速頭之和。 若繪一線以圖示水流中的能率，則該線必在水面曲線以上 $\frac{V^2}{2g}$ 處，此線名叫能線。

1-3 水流中能量的耗損

水流中能量耗損的主要原因爲摩擦損失，此外當水流起劇變時，如斷面突然放大或收縮及水躍等，能量亦有大量的耗損。 第 2 圖示一渠道的縱剖面，由(1) 至 (2) 二斷面間，以基線 0-0 爲準，伯諾里方程式爲



第 2 圖

$$\frac{V_1^2}{2g}+D_1+y_1=\frac{V_2^2}{2g}+D_2+y_2+H_f \tag{4}$$

因 $D_1+y_1-(D_2+y_2)=H_f$， 故 (4) 式可寫作

$$\frac{V_1^2}{2g}+H_1=\frac{V_2^2}{2g}+H_f \tag{5}$$

式中 H_1 為斷面 (1) (2) 間的水面差，H_f 為自 (1) 至 (2) 水流中能量的耗損。

由 (5) 式可得下列的關係：

(一) 當 $H_1=H_f$ 時，$\frac{V_1^2}{2g}=\frac{V_2^2}{2g}$，$V_1=V_2$，$D_1=D_2$，故水流為等速流。其所減少的位能完全消耗於克服摩擦力，其能線、水面、與渠底均互相平行。

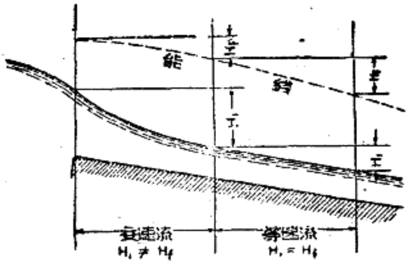
(二) 當 $H_1>H_f$ 時，$\frac{V_1^2}{2g}<\frac{V_2^2}{2g}$，$V_1<V_2$，$D_1>D_2$，故水流為加變速流。其所減少的位能除消耗於摩擦力外，尚有一部份變為動能。其能線、水面、與渠底均不平行。

(三) 當 $H_1<H_f$ 時，$\frac{V_1^2}{2g}>\frac{V_2^2}{2g}$，$V_1>V_2$，$D_1<D_2$，故水流為減變速流。其所減少的位能不足克服摩擦力，尚須消耗一部份動能去克服它。其能線、水面、與渠底均不平行。

1-4 短渠及長渠　在加變速流情形之下，當一部份位能變為動能後，流速增加，摩擦力隨即增加。當摩擦力增加後，必需耗損更多的位能，如是變為動能的位能勢必逐漸減少，最後必至水流所損失的位能僅夠克服摩擦力，故水流變為等速流。

同理，在減變速流中，一部份動能消耗於摩擦力後，流速減低，摩擦力隨即減少，如是，動能所需協助位能克服摩擦力的數量亦減少，最後，必減少至零，此時動能無耗損，故水流變為等速流。

總之，若渠槽的斷面及底坡均不變，無論水流為加變速流或減變速流，如渠道的長度極長，則水流終必變成等速流。(參看第3圖)。凡渠長過短，不足使水流變為等速流者，稱為短渠。凡渠長適當，可使水流變為等速流者，稱為長渠。



第 3 圖

1-5 明渠的斷面形及斷面因數　最常用的明渠的斷面形計有矩形、梯形、三角形、圓形、及拋物線形等(參看第 4 圖)。 各種斷面形對水流發生影響的因素，稱爲斷面因素，如斷面積 A，濕周 P，水力半徑 R，最大水深 D，水面寬度 T，平均水深 D_m，及斷面重心離水面的距離 $\bar{y}$ 等。 今將各種斷面形的斷面因素略述如下，並列簡表，以資應用。

(一) 梯形　設梯形的最大水深爲 D，底寬爲 b，水面寬度爲 T，邊坡 $\frac{e}{D}=Z$，則其斷面積

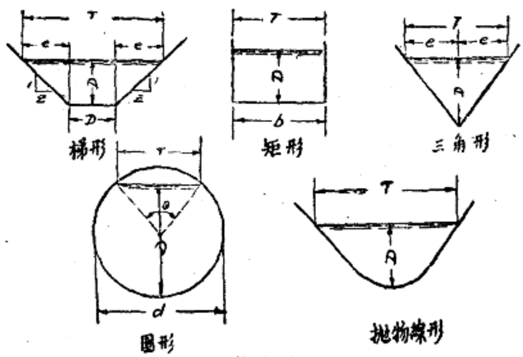
$$A = D(b+ZD) \tag{6}$$

水力半徑
$$R = \frac{A}{P} = \frac{1+Z\dfrac{D}{b}}{1+\dfrac{2D}{b}\sqrt{1+Z^2}}D \tag{7}$$

平均水深
$$D_m = \frac{A}{T} = \frac{1+Z\dfrac{D}{b}}{1+2Z\dfrac{D}{b}}\cdot D \tag{8}$$

斷面重心離水面的距離
$$\bar{y} = \frac{3+2Z\dfrac{D}{b}}{6\left(1+Z\dfrac{D}{b}\right)}D \tag{9}$$

以上各式亦可寫作：



第 4 圖

$$R=K_1D\quad\left(令\ K_1=\frac{1+Z\dfrac{D}{b}}{1+2\dfrac{D}{b}\sqrt{1+Z^2}}\right)\tag{10}$$

$$D_m=K_2D\quad\left(令\ K_2=\frac{1+Z\dfrac{D}{b}}{1+2Z\ \dfrac{D}{b}}\right)\tag{11}$$

$$\bar{y}=K_3D\quad\left(令\ K_3=\frac{3+2Z\ \dfrac{D}{b}}{6\left(1+Z\ \dfrac{D}{b}\right)}\right)\tag{12}$$

K_1, K_2, K_3 均爲係數，若 Z 及 $\frac{D}{b}$ 爲已知，則可應用公式求得，亦可自附表 (1),(2),(3) 查得。

若梯形的邊坡各邊不同，則第 (6),(11) 及 (12) 諸式，均可應用平均邊坡求之，惟應用於第 (10) 式時，答數並非眞確數值，但誤差極微。例如 $D=5, b=10, Z_1=1, Z_2=2$，則 R 的眞確數值應爲 3.10，若應用平均邊坡 $Z=\frac{1+2}{2}=1.5$，由附表 (1)，得 $R=3.12$。

（二） 矩形及三角形　矩形爲 $Z=0$ 的梯形，三角形爲 $b=0$ 的梯

形，故梯形的公式仍可應用於矩形及三角形。

（三） 圓形 設未滿流水管的最大水深爲 D，管的直徑爲 d，水面寬所張的圓心角爲 θ，則水流的斷面積

$$A = \frac{1}{8}(\theta - \sin\theta)\cdot d^2 = K_4 d^2 \qquad (13)$$

水力半徑 $$R = \frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)\cdot d = K_5 d \qquad (14)$$

水面寬度 $$T = \sin\frac{\theta}{2}\cdot d = K_6 d \qquad (15)$$

平均水深 $$D_m = \frac{\theta - \sin\theta}{8\sin\frac{\theta}{2}}\cdot d = K_7 d \qquad (16)$$

水流斷面重心距水面的距離 $\bar{y} = K_8 d$ (17)

以上公式中的 K_4、K_5、K_6、K_7、及 K_8 諸值各可自附表 (4)、(5)、(6)、(7)、及 (8) 中查出。

（四） 拋物線形 拋物線的普通方程式爲

$$x^2 = Ky \qquad (18)$$

若將 $\frac{1}{2}T$ 及 D 各代入(18)式中的 x 及 y，則 K 值卽可定出。 假設 x 值，卽可求出其對應的 y 值，如是拋物線形卽可定出。

斷面積 $$A = \frac{2}{3}TD \qquad (19)$$

水力半徑 $$R = K_9 D \qquad (20)$$

式中 K_9 值爲 $\frac{D}{T}$ 的函數，可由附表 (9) 查出。

平均水深 $$D_m = \frac{2}{3}D \qquad (21)$$

斷面重心離水面的距離 $$\bar{y} = \frac{2}{5}D \qquad (22)$$

習題 1

1. 下列各種情形的水流，何者爲定量等速流？何者爲定量變速流？ 何者爲變量變速流？

甲．渠道平直，斷面的形式及大小均相等，底坡不變，流量爲常數．

乙．渠道平直，斷面的形式及大小均相等，流量爲常數，但渠底高低不平．

丙．流量爲常數，均勻渠槽中建一滾水壩以提高水位．

丁．均勻渠槽中的閘門突然開啓．

2. 試比較等速流與變速流有何不同．

定 量 等 速 流

第二章　定量等速流原理的概述

2-1 明渠的流速公式　明渠中水流的基本公式爲：

$$V = CR^m S^n \tag{23}$$

式中 V = 平均流速，R = 水力半徑，S = 水坡，C、m、n 爲係數，可由試驗求得.

（甲）　謝才公式　1775 年，謝才氏 (Chezy) 試驗的結果，得 $m = n = \frac{1}{2}$，即

$$V = C\sqrt{RS} \tag{24}$$

式中的 C 稱爲謝才係數。 謝才認爲該係數爲常數，然後世的研究者發現其值與河槽的粗糙率 n，水力半徑 R，及水坡 S，均有密切的關係。

（乙）　庫特公式　1869 年，庫特氏 (Kutter) 及耿固勒氏 (Ganguillet) 發表求謝才係數的公式爲：

$$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{S} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{S}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}} \tag{25}$$

式中粗糙率 n 之值，庫、耿二氏的規定見第 1 表。

然第 1 表上的數值，對實際應用，尙嫌不詳。 霍頓氏 (Horton) 於 1916 年曾將粗糙率列成詳表（見附表 10），甚合應用。

第1表　粗糙率 n 值(一)

水道情形	鉋平木料	純水泥	水泥沙漿	未鉋木料	平整的磚石工	粗砌磚石	亂石工	情形良好的河道	多石及莠草的河道	情形極劣的河道
粗糙率	0.009	0.010	0.011	0.012	0.013	0.015	0.017	0.025	0.030	0.035

（丙）　滿寧公式——1890年滿寧氏(manning)發表謝才係數之值為

$$C=\frac{1}{n}R^{\frac{1}{6}} \tag{26}$$

或

$$V=\frac{1}{n}R^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}} \tag{27}$$

式中的 n 值與庫特公式中的 n 值相同。

（丁）　巴青公式——1897年巴青氏(Bazin)建議謝才係數為

$$C=\frac{87}{1+\frac{m}{\sqrt{R}}} \tag{28}$$

式中 m 為粗糙率，惟與庫特及滿寧公式中的 n 不同，其值見第2表。

第2表　巴青公式中的 m 值

水道情形	m
光滑面，如水泥及鉋光木板等	0.06
光滑面，如木板，磚及鑿石等	0.16
粗石圬工	0.46
極有規則的土渠	0.85
普通土渠	1.30
阻力極大的河渠（多石及莠草）	1.75

2-2 各公式的比較　明渠的流速公式，不下數十種，上述各式為應用比較廣的。　庫特公式係根據塞因(Seine)、維塞(Weser)、萊茵(Rhine)、及密西西比(Mississippi)等河的實測資料而來，故最適用

於水坡緩和的大河流，因其公式較繁，且C值與R、S、及n均有關係，故應用時比較麻煩。滿寧公式，則C值與S無關，故應用方便，常用於水坡較陡的較小河渠中。巴青公式雖盛行於法國，因其m值爲一般工程師所不熟悉，故不爲其他國家所採用。總之，各公式均係依據實際試驗而來，若其係數選擇適當，則其準確程度並無差別。惟滿寧公式簡而易算，最爲一般工程師所樂用。

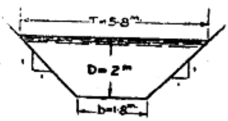
2-3 謝才及庫特公式的應用　謝才公式中的C值可應用庫特公式求之，或查附表11。設流量爲Q，斷面積爲A，則謝才公式亦可寫作

$$Q = AC\sqrt{RS} \tag{29}$$

若渠道的粗糙率爲已知，則應用謝才公式可決定下列三種不同的問題：

（一）設斷面及水坡爲已知，求流量或流速。爲使讀者易於了解計，今舉實例如下：

例 1. 有一梯形渠道，其斷面如第5圖所示，粗糙率$n=0.013$，水坡$S=0.0001$，試求其流速及流量。



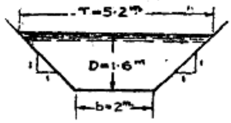
第5圖

解：$\dfrac{D}{b}=\dfrac{2}{1.8}=1.11$，由附表1，得$K_1=0.510$，故 $R=K_1D=0.510\times2=1.02$公尺。又由附表11，查得當$S=0.0001$，$n=0.013$，$R=1.02$時，$C=78$。其流速 $V=C\sqrt{RS}=78\sqrt{1.02\times0.0001}=0.787$公尺/秒。因其斷面積 $A=\dfrac{5.8+1.8}{2}\times2=7.6$平方公尺，故其流量$Q=AV=7.6\times0.787=5.98$秒-公方。

（二）設斷面及流量爲已知，求水坡。應用謝才公式求水坡甚爲不便，因C與S有關，S既爲未知，C即無法確定，惟有應用試算法求之。著者利用圖解法，同時可求得C及S之值，應用尚稱簡便，今舉例如下：

例 2. 有一渠道，其斷面如第6圖所示，流量$Q=10$秒-公方，$n=$

0.010，試求其水坡。



第 6 圖

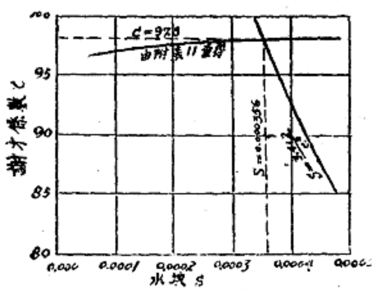
解：$\frac{D}{b}=\frac{1.6}{2}=0.8$，由附表 1，得 $K_1=0.552$，故 $R=K_1D=0.552\times1.6=0.8832$ 公尺．$A=\frac{5.2+2}{2}\times1.6=5.76$ 平方公尺．由第(29)式，得 $10=5.76C\times\sqrt{0.8832S}$，即 $S=\frac{3.412}{C^2}$，由該式求得 S 與 C 的關係如下：

C（假設）	$S=\frac{3.412}{C^2}$
100	0.000341
95	0.000378
90	0.000421
85	0.000472
80	0.000533

又由附表 11，查得 C 與 S 的關係如下：

S	C
0.00005	96.7
0.00010	97.2
0.00020	97.7
0.00040	97.9

將以上二表繪成二曲線（見第 7 圖），其得交點處的 $C=97.8$，$S=$



第 7 圖