

# 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，生產建設已成為今後的中心任務，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。第一章為緒論，第二章為等速流原理的概述，自第三章至第十四章為定量變速流的原理及應用，第十五章為變量變速流。內容力求精簡，每一原理敘述完畢，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，並可作為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，尚希各專家不吝指正。

一九五一年一月吳持恭於雲南大學

# 目次

## 第一章 緒論

1-1	明渠中的水流	1
1-2	水流所具的能量	1
1-3	水流中能量的耗損	2
1-4	短渠及長渠	9
1-5	明渠的斷面形及斷面因數	4
習題 1		7

## 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	8
2-2	各公式的比較	9
2-3	謝才及庫特公式的應用	10
2-4	滿寧公式的應用	13
習題 2		16

## 定量變速流

## 第三章 定量變速流的通性

3-1	流量不變時水深與能率的關係	13
3-2	能率不變時水深與流量的關係	19
3-3	臨界水深	20
3-4	臨界水深的普通公式	21
3-5	矩形渠道的臨界水深	23
3-6	臨界水流	23
3-7	緩坡及陡坡	25
3-8	臨界水深發生的實例	26
3-9	水流的分類	28
3-10	動流因數	30
習題 3		31

## 第四章 水面曲線的分類

4-1	引言	83
4-2	水面曲線的基本方程式	83
4-3	布里斯水面曲線方程式	84
4-4	水面曲線的分類	85
4-5	各種水面曲線的標準形式	37
	習題 4	40

## 第五章 均勻渠槽中水面曲線的求法

5-1	布里斯法	41
5-2	面積法	43
5-3	分段法	46
5-4	各種方法的比較	47
5-5	平底渠槽的水面曲線	47
	習題 5	51

## 第六章 應用分段法分析均勻渠槽水面曲線的實例

6-1	分析水面曲線的步驟	52
6-2	M曲線的實例	53
6-3	S曲線的實例	59
	習題 6	64

## 第七章 天然河流的回水曲線

7-1	概述	65
7-2	能線高程驗算法	65
7-3	水位驗算法	68
7-4	圖解法	70
	習題 7	73

## 第八章 平底渠槽中的水躍

8-1	定義	75
8-2	水躍現象的解釋	75
8-3	水躍的形式	76
8-4	水躍的普通公式	76
8-5	非矩形渠槽的水躍問題	77
8-6	矩形渠槽的水躍問題	80

8-7	水躍的理論公式與實際試驗的比較.....	81
8-8	水躍所損失的能率.....	82
8-9	躍長.....	84
	習題 8 .....	86
<b>第九章 坡底渠槽中的水躍</b>		
9-1	理論分析的困難.....	87
9-2	倍克米底夫公式.....	87
9-3	金特斯佛脫公式.....	89
9-4	實用簡便公式.....	90
	習題 9 .....	94
<b>第十章 水躍的位置</b>		
10-1	決定水躍位置的基本原則.....	96
10-2	可能發生水躍的情形.....	96
10-3	陡坡與緩坡相接時水躍位置的決定.....	97
10-4	陡坡渠槽中的水流被其他建築物所阻礙時水躍位置的決定.....	101
10-5	閘門下游水躍的位置.....	101
	習題 10.....	107
<b>第十一章 渠首及渠尾水位的變化對渠道流量的影響</b>		
11-1	概述.....	108
11-2	渠首水位不變時渠道中流量的可能變化.....	109
11-3	渠長對渠道流量的影響.....	114
11-4	渠尾水位不變時渠道中流量的可能變化.....	115
11-5	渠首及渠尾的水位均變時渠道中流量的可能變化.....	118
	習題 11.....	122
<b>第十二章 陡槽的設計</b>		
12-1	概述.....	123
12-2	水深與底寬之比為常數的陡槽.....	123
12-3	底寬不變的陡槽.....	125
12-4	水深不變的陡槽.....	126
	習題 12.....	127
<b>第十三章 緩接渠槽的設計</b>		
13-1	概述.....	128
13-2	緩接渠槽的水面變化.....	128

13-3	緩接渠槽的長度	129
13-4	緩接渠槽的水面曲線	129
13-5	緩接渠槽設計的步驟及實例	130
	習題 13	134

#### 第十四章 河灣及橋墩對水流的影響

14-1	河灣對水流的影響	135
14-2	橋墩對水流的影響	136
	習題 14	139

### 變量變速流

#### 第十五章 變量變速流

15-1	概述	140
15-2	動浪的普通公式	140
15-3	矩形渠槽中的動浪公式	141
15-4	實例	142
	習題 15	142

### 附 表

附表 1	求梯形渠槽水力半徑時的 $K_1$ 值	143
附表 2	求梯形渠槽平均水深時的 $K_2$ 值	147
附表 3	求梯形斷面重心離水面的距離時的 $K_3$ 值	148
附表 4	求圓形渠槽斷面積時的 $K_4$ 值	149
附表 5	求圓形渠槽水力半徑時的 $K_5$ 值	149
附表 6	求圓形渠槽水面寬度時的 $K_6$ 值	150
附表 7	求圓形渠槽平均水深時的 $K_7$ 值	150
附表 8	求圓形渠槽斷面重心離水面的距離時之 $K_8$ 值	151
附表 9	求拋物線形渠槽斷面的水力半徑時之 $K_9$ 值	151
附表 10	粗糙率 $n$ 值	152
附表 11	謝才係數 $C$ 值	153
附表 12	梯形渠槽的流量因數 $K$ 值	155
附表 13	梯形渠槽的流量因數 $K'$ 值	159
附表 14	圓形渠槽的流量因數 $K$ 值	163
附表 15	圓形渠槽的流量因數 $K'$ 值	163
附表 16	拋物線形渠槽的流量因數 $K$ 值	164
附表 17	拋物線形渠槽的流量因數 $K'$ 值	164
附表 18	布里斯 $\phi(Z)$ 值	165

# 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為大氣壓力者，統稱為明渠。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，稱為定量流。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，稱為變量流。

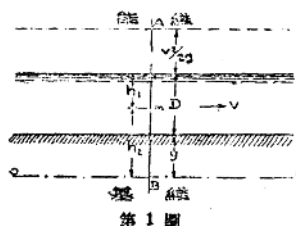
若渠槽既平直，而沿槽各斷面的大小、形式、及底坡又均相等者，則該渠槽稱為均勻渠槽。均勻渠槽中的定量流，沿槽各斷面的水深必相等，即流經任何斷面上的流速均相等，此種水流，稱為等速流。若渠槽底坡或斷面有變化時，雖其水流為定量流，而沿槽各斷面的水深不等，則沿槽各斷面上的平均流速不相等，此種水流，稱為變速流。

等速流的水面必與渠底平行，而變速流則否；等速流必為定量流，而變速流可為定量流，可為變量流。

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

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

式中 $h_1 + h_2$ 之值，不因 $m$ 點的位置而變，且 $m$ 點在斷面 $AB$ 上任何處的流速均為平均流速 $V$ ，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為 $w$ ，則在任



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

$$H_a = D + y + \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

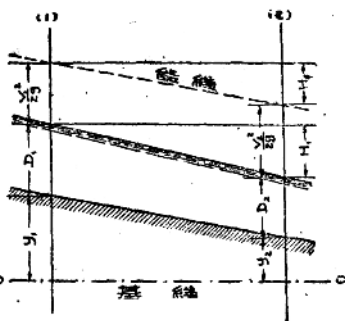
任何斷面上，水流所具的能量，最簡便的表示法，莫若令基線通過該斷面的渠底，即 (2) 式中的  $y=0$ 。水流所具的能量以此種方法表示者，叫做能率，恆用  $E$  表之，

$$E = D + \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

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為摩擦損失，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 為準，伯諾里方程式為



第 2 圖

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

因  $D_1 + y_1 - (D_2 + y_2) = H_f$ ，故 (4) 式可寫作



$$\frac{V_1^2}{2g} + H_1 = \frac{V_2^2}{2g} + H_f \quad (5)$$

式中  $H_1$  為断面 (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。

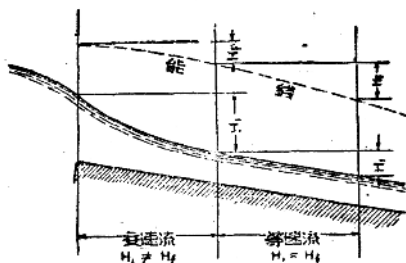
(三) 當  $H_1 < H_f$  時,  $\frac{V_1^2}{2g} > \frac{V_2^2}{2g}$ ,  $V_1 > V_2$ ,  $D_1 < D_2$ , 故水流為

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,若渠槽的断面及底坡均不變,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,稱為斷面因素,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 設梯形的最大水深為  $D$ , 底寬為  $b$ , 水面寬度為  $T$ , 邊坡  $\frac{c}{D} = Z$ , 則其斷面積

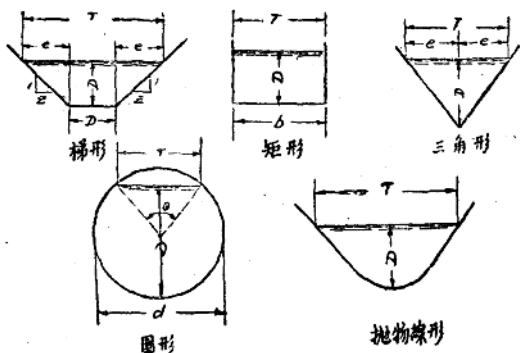
$$A = D(b + ZD) \quad (6)$$

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

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

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

以上各式亦可寫作:



第 4 圖

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

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

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

$K_1, K_2, K_3$  均為係數，若  $Z$  及  $\frac{D}{b}$  為已知，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，答數並非真確數值，但誤差極微。例如  $D=5, b=10, Z_1=1, Z_2=2$ ，則  $R$  的真確數值應為 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 矩形為  $Z=0$  的梯形，三角形為  $b=0$  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為  $D$ ，管的直徑為  $d$ ，水面寬所張的圓心角為  $\theta$ ，則水流的斷面積

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

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

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

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

水流斷面重心距水面的距離  $\bar{y} = K_8 d \quad (17)$

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為

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

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

斷面積  $A = \frac{2}{3}TD \quad (19)$

水力半徑  $R = K_9 D \quad (20)$

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

平均水深  $D_m = \frac{2}{3}D \quad (21)$

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

## 習題 1

1. 下列各種情形的水流，何者為定量等速流？何者為定量變速流？何者為變量變速流？

- 甲. 渠道平直，斷面的形式及大小均相等，底坡不變，流量為常數。
- 乙. 渠道平直，斷面的形式及大小均相等，流量為常數，但渠底高低不平。
- 丙. 流量為常數，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為：

$$V = CR^m S^n \quad (23)$$

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

(甲) 謝才公式 1775年, 謝才氏 (Chezy) 試驗的結果, 得  $m =$

$$n = \frac{1}{2}, \text{即}$$

$$V = C\sqrt{RS} \quad (24)$$

式中的  $C$  稱為謝才係數。謝才認為該係數為常數, 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為：

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

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, 尚嫌不詳。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	鋪平木料	純水	水泥沙漿	未鋪木料	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

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (26)$$

或

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

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

$$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \quad (28)$$

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，如水泥及拋光木板等	0.06
光滑面，如木板、磚及藍石等	0.16
粗石坊工	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 $m$ 值為一般工程師所不熟悉，故不為其他國家所採用。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，最為一般工程師所樂用。

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。設流量為 $Q$ ，斷面積為 $A$ ，則謝才公式亦可寫作

$$Q = AC\sqrt{RS} \quad (29)$$

若渠道的粗糙率為已知，則應用謝才公式可決定下列三種不同的問題：

(一) 設斷面及水坡為已知，求流量或流速。 為使讀者易於了解計，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。

解：  $\frac{D}{b} = \frac{2}{1.8} = 1.11$ ，由附表 1，得 $K_1 =$

0.510，故 $R = K_1 D = 0.510 \times 2 = 1.02$  公尺。

又由附表 11，查得當 $S=0.0001$ ， $n=0.013$ ，

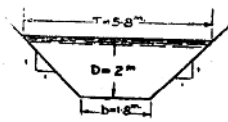
$R = 1.02$  時， $C = 78$ 。其流速 $V = C\sqrt{RS} = 78\sqrt{1.02 \times 0.0001}$

$= 0.787$  公尺/秒。因其斷面積 $A = \frac{5.8+1.8}{2} \times 2 = 7.6$  平方公尺，故

其流量 $Q = AV = 7.6 \times 0.787 = 5.98$  秒-立方。

(二) 設斷面及流量為已知，求水坡。 應用謝才公式求水坡甚為不便，因 $C$ 與 $S$ 有關， $S$ 既為未知， $C$ 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-立方， $n=$



第 5 圖



0.010, 試求其水坡。

解:  $\frac{D}{b} = \frac{1.6}{2} = 0.8$ , 由附表 1, 得  $K_1 =$

0.552, 故  $R = K_1 D = 0.552 \times 1.6 = 0.8832$  公

尺。  $A = \frac{5.2+2}{2} \times 1.6 = 5.76$  平方公尺。 由第(29)式, 得  $10 = 5.76C \times$

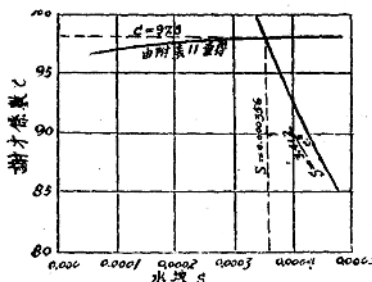
$\sqrt{0.8832S}$ , 即  $S = \frac{3.412}{C^2}$ , 由該式求得  $S$  與  $C$  的關係如下:

$C$ (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	86.7
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