

大學用書

普通水力學

(下 冊)

劉 德 潤 編 著

正中書局印行

大學用書

普通水力學

(下冊)

劉德潤編著



正中書局印行

中華民國三十四年六月初版
中華民國三十五年九月滬一版

普通水力學

(共 二 册)

下册 定價國幣五元三角

(外埠酌加運費匯費)

編	者	劉	德	潤		
發	行	人	吳	秉	常	
印	刷	所	正	中	書	局
發	行	所	正	中	書	局

(1608)

校
：
整
：
向
：
欽

目次

第十三章 河渠水流——等速

流 385

- 13-1. 概述 385
- 13-2. 希蔡公式 387
- 13-3. 岡軌立及苦特公式 388
- 13-4. 曼寧公式 392
- 13-5. 巴青公式 396
- 13-6. 西德克公式 397
- 13-7. 各家流速公式比較 406
- 13-8. 水力經濟斷面 408
- 13-9. 圓形斷面水道 411
- 13-10. 河道標準斷面 413
- 13-11. 河道複斷面 415
- 13-12. 河渠水流問題之計算 416
- 13-13. 河渠挾砂 417
- 13-14. 河渠挾砂與流速 418
- 13-15. 河渠挾砂與拖拽力 422

第十四章 河渠水流——變速

流 431

- 14-1. 矩形水道中之促率與臨界水流 431

- 14-2. 梯形水道中之臨界水流 ... 435
- 14-3. 臨界水深儀 437
- 14-4. 矩形渠道中之水躍 438
- 14-5. 矩形渠道中 h_c 與 h_1 及 h_2 之關係 440
- 14-6. 矩形渠道中水躍損頭 ... 442
- 14-7. 梯形渠道中之水躍 443
- 14-8. 變速流之基本公式 445
- 14-9. 橋後逆積水 450

第十五章 水衝擊原理 ... 460

- 15-1. 概述 460
- 15-2. 射流對於固定平面上之衝擊 462
- 15-3. 射流對於固定曲面上之衝擊 463
- 15-4. 受衝擊面上壓力之分布與實有衝擊力 455
- 15-5. 射流對於單運動輪翼之衝擊 467
- 15-6. 射流對於複運動輪翼之衝擊 469
- 15-7. 複運動輪翼受以兵輪翼運動

不同方向射流之衝擊 ... 471

15-8. 輪翼上所受衝擊力之圖解 ... 472

15-9. 曲管內所受之衝擊力 ... 475

15-10. 漸細管所受之衝擊力 ... 476

15-11. 射流之推進 ... 478

15-18. 旋轉水道 ... 480

15-13. 動壓力及阻力 ... 482

15-14. 船之阻力 ... 483

第十六章 水輪 ... 502

16-1. 水輪之分類 ... 502

16-2. 伯爾頓衝擊水輪 ... 504

16-3. 基拉德衝擊水輪 ... 509

16-4. 反擊水輪概述 ... 510

16-5. 佛奈郎水輪——屬外流水輪 ... 516

16-3. 佛蘭西水輪——輻內流水輪 ... 517

16-7. 佛蘭西水輪設計步驟 ... 519

16-9. 混流水輪——美國式水輪 ... 522

16-9. 軸流水輪 ... 524

16-10. 各種水輪輪翼厚度 ... 526

16-11. 減波塔 ... 526

第十七章 水輪之工作性 ... 535

17-1. 概述 ... 535

17-2. 單位水頭下水輪之工作性 ... 535

17-3. 水輪常數——英制 ... 538

17-4. 特性水輪之工作性 ... 540

17-5. 特性速 ... 541

17-5. 伯爾頓水輪之工作性 ... 546

17-7. 佛蘭西水輪之工作性 ... 548

17-8. 特性曲線 ... 557

17-9. 卡卜瀾式及螺式水輪之工作性 ... 560

17-10. 幾何相似與動力相似之水輪工作性 ... 561

第十八章 離心抽水機 ... 574

18-1. 各式抽水機概述 ... 574

18-2. 離心抽水機之式樣 ... 577

18-3. 推輪式樣 ... 580

18-4. 軸向推力及漏水損失 ... 581

18-5. 離心抽水機之基本公式 ... 583

18-6. 離心抽水機之特性速 ... 585

18-7. 複級抽水機 ... 583

18-8. 離心抽水機之實有效率 ... 589

18-9. 離心抽水機之工作性 ... 592

18-10. 各式抽水機特性之比較 ... 594

18-11. 特性曲線之分析 ... 599

18-12. 轉速, 水頭, 軸馬力及流量之關係 ... 599

18-13. 液體物理性對於抽水機工作性之影響 ... 602

18-14. 離心抽水機之安裝及附件 ... 603

18-15. 先充水設備 ... 604

18-16. 吸水高之限度 ... 605

附表一. 布里斯 $\psi(x)$ 值 ... 623

附表二. 單位換算 ... 618

附表三. 中英名詞對照 ... 619

附表四. 英漢名詞對照 ... 642

參考書 ... 655

第十三章 河渠水流

13-1. 極述 河者，天然水道也；渠者，人工水道也。無論其在地上或在地下，無論其為明為暗，凡水道之水面所受壓力為大氣壓力者，統名之曰河渠(open channels)。其斷面在天然河道中，為梯形或拋物線形；在人工水道中，則因其作用與建築之材料而不同，或為梯形，或為拋物線形，或為矩形，或為圓形，或為倒置三角或V形，或為倒置雞蛋形，或為馬蹄形，或為其他不規則形。故河渠與水管之區分，不在水道断面之形狀，而在其流水所受之壓力。管內水流，由於壓力；河渠水流，由於位能，各依流向而遞減。

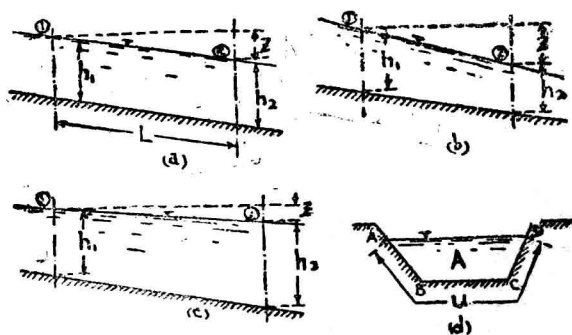


圖 13-1

圖 13-1 (a), (b), (c) 示一河渠之縱剖面，其断面 A 形狀為固

定。由①至②書伯那里式：

$$\frac{V_1^2}{2g} + Z + 0 = \frac{V_2^2}{2g} + 0 + 0 + (\text{損頭})_{1-2}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} + Z = \frac{V_2^2}{2g} + (\text{損頭})_{1-2} \quad (13-1)$$

設 $Z = (\text{損頭})_{1-2}$ ，則 $V_1 = V_2$ ， $h_1 = h_2$ ，即位能 Z 完全消蝕於阻力之克服，水面與渠底平行，此種水流現象曰等速流，圖 13-1(a)。

設 $Z > (\text{損頭})_{1-2}$ ，則 $V_1 < V_2$ ， $h_1 > h_2$ ，即位能 Z 一部消蝕於阻力之克服，一部變為動能，水坡 (hydraulic slope) 較底坡 (bottom slope) 為陡。此種流速依流向而遞增之水流，曰加速流 (accelerated flow)，圖 13-1(b)。

設 $Z < (\text{損頭})_{1-2}$ ，則 $V_1 > V_2$ ， $h_1 < h_2$ ，即位能 Z 不足克服阻力，尚需一部動能以克服之，水坡較底坡為緩，此類流速依流向而遞減之水流，曰減速流 (retarded flow)，圖 13-1(c)。加速流與減速流，統名之曰變速流。

流水斷面 $ABCD$ 大時，流量自大，故流量與斷面成正比。反之，流水阻力等於水道溼周 $ABCD$ (圖 13-1(d)) 上之切力 (shear force)，溼周較大之水道，流水阻力亦大，流量必因之而減，即流量與溼周成反比；亦即流量 $Q \propto \frac{\text{斷面 } ABCD}{\text{溼周 } ABCD}$ ，故 $\frac{\text{斷面 } ABCD}{\text{溼周 } ABCD}$ 為計算流量之

主要因素。設斷面 $ABCD = A$ ，溼周 $ABCD = u$ ，則 $\frac{A}{u} = R =$ 水力半徑；或曰水力均深 (hydraulic mean depth) 即溼周每處之平均水深

也。故 R 之值依斷面形狀而異，亦可名曰斷面因數 (cross-section factor)。

由 10-2 節，知層流流速甚微，而河渠中流速往往超越層流流速數倍乃至數十倍，故本章所論，概為亂流。

13-2. 希蔡公式 測量河渠流速之一般公式為

$$V = KR^m S^n \quad (13-2)$$

式內 V = 平均流速， R = 水力半徑， S = 水坡， K, m, n 為常數，由實驗資料求出。1775 年希蔡在法國古巴立 (Coupalet) 由測驗土渠水流，得

$$V = C\sqrt{RS} \quad (13-3)$$

曰希蔡公式。斯式之引證已詳於 10-9 節中，茲更可推演之如下：

取一段河流，長 L ，斷面 A ，溼周 u ，水之重率 w ，流量 Q ，平均流速 V ，

$$\text{亂流阻力} = KV^2 \quad (a)$$

此段水流之重量 = ALw ，依流向之分力 = $ALw \frac{h}{L}$ = 水之拖拽力

(tractive force)。溼周單位面積上之拖拽力

$$= \frac{ALw}{uL} \cdot \frac{h}{L} = wRS \quad (b)$$

若河渠內之水流為定量等速流，則 (a) = (b)。

$$\therefore KV^2 = wRS$$

$$V = \sqrt{\frac{w}{K} RS}$$

令 $\sqrt{\frac{w}{R}} = C$, 則 $V = C\sqrt{RS}$, 與式(13-3)同。

式內 C 項曰希蔡氏 C 。彼曾信 C 值為不變, 然後世之研究者探得其值不惟因河渠糙率 n 值之異而不同, 且與 R 及 S 有關, 蓋 V 非確依 \sqrt{RS} 而變也。

希蔡公式發表既早, 又極簡單, 迄今水工上之應用, 多祖述之; 水工學者曾推證無數經驗公式, 以求 C 值。

13-3. 岡軌立及苦特公式 * 此式亦名苦特公式, 外文簡稱“G. K.”公式。岡苦二氏同為瑞士政府工程師, 於1869年發表此聞名之公式。其基本公式為

$$C = \frac{y}{1 + \frac{x}{\sqrt{R}}} \quad (13-4)$$

式內 x, y 為變數, R = 水力半徑。

彼等探得最合實驗資料之 x, y 值為 $y = a + \frac{L}{n}$, $x = an = ny - L$,

式內 a, L 為常數, n = 糙率。不計水坡 S 之影響時, 式(13-4)應為

$$C = \frac{a + \frac{L}{n}}{1 + \frac{an}{\sqrt{R}}} \quad (13-5)$$

* E. Ganguillet and W. R. Kutter — “Versuch zur Aufstellung einer allgemeinen Formel für die gleichförmige Bewegung des Wassers in Canälen und Flüssen”, Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur und Architekten Vereines, 1839.

若於 y 項加入水坡之影響 $\frac{m}{S}$, $m = \text{常數}$, 即

$$y = a + \frac{L}{n} + \frac{m}{S},$$

$$x = ny - L = na + L + \frac{m}{S}n - L = \left(a + \frac{m}{S}\right)n,$$

則基本公式(13-4)化爲

$$C = \frac{a + \frac{L}{n} + \frac{m}{S}}{1 + \left(a + \frac{m}{S}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (13-6)$$

依等研究所搜集之資料而得結果, 謂

- (1) 當 $R=1$ 公尺時, C 值與水坡 S 無關;
- (2) 當 $R < 1$ 公尺時, C 值依水坡 S 之增而增;
- (3) 當 $R > 1$ 公尺時, C 值依水坡 S 之增而減。

式(13-6)可化爲

$$C = \frac{\sqrt{R}}{n} \cdot \frac{\left(a + \frac{m}{S}\right)n + L}{\left(a + \frac{m}{S}\right)n + \sqrt{R}} \quad (13-7)$$

當 $R=1$ 公尺時, 欲使 C 值與 S 無關, 則 L 必等於 1,

$$\therefore C = \frac{1}{n} \quad (13-8)$$

由實驗數據 $a=23$, $m=0.00155$, 則

$$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{S} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{S}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (\text{公制}) \quad (13-9)$$

C 值非為純數，其尺度為 $L^{\frac{1}{2}} T^{-1}$ 。故若用英制，其值則變為

$$C = \frac{41.65 + \frac{0.00281}{S^*} + \frac{1.811}{n}}{1 + \left[41.65 + \frac{0.00281}{S} \right] \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (\text{英制}) \quad (13-10)$$

n 值在上兩式中相同，與尺制無關，然依下列因素而變：

- (1) 水道溼周之材料。
- (2) 河底及河岸之崎嶇。
- (3) 水道斷面之變化。
- (4) 沈澱與沖刷之難易。
- (5) 水道之彎直。
- (6) 草木之繁疏。
- (7) 障礙物之有無。
- (8) 水道之大小。

各種水道溼周之糙率 n 之值，見表 13-1。

式(13-9)及(13-10)曰岡苦二氏公式，或簡稱曰苦氏式。式中含有下列關係：

- (1) C 值依糙率 n 之增而減； n 值較大時， C 值遞減率降低。
- (2) C 值依水力半徑 R 之增而增； R 值較大時， C 值遞增率降低。
- (3) 當 R 加大時，因 n 值增減而引起 C 值之變率減低。
- (4) 當 $R=1$ 公尺時， C 與 S 無關。
- (5) 當 $R < 1$ 公尺時， C 值依 S 之增而增。

表 13-1. 河渠糙率 n 值⁺

水 道 質 料	最優	優	佳	劣
木槽:				
鋪平	0.010	0.012*	0.013	0.014
未鋪	0.011	0.013*	0.014	0.015
混凝土渠道	0.012	0.014*	0.016*	0.018
水泥砌石	0.017	0.020	0.025	0.030
乾砌石面	0.025	0.030	0.033	0.035
整齊方石面	0.013	0.014	0.015	0.017
光滑金屬半圓渠槽	0.011	0.012 ^b	0.013	0.015
鑄紋金屬半圓渠槽	0.0225	0.025	0.0275	0.030
渠道:				
整齊而端直之土渠	0.017	0.020	0.0225*	0.025
整齊而光滑之鑿石渠	0.025	0.030	0.035*	0.035
參差不整齊之鑿石渠	0.035	0.040	0.045	—
紆曲流緩之渠道	0.0225	0.025*	0.0275	0.030
渠底多石,兩岸莠草叢生之渠道	0.025	0.030	0.035*	0.040
土底,岸坡砌石	0.028	0.030*	0.035*	0.035
天然河道:				
(1) 整潔端直河岸,無淺灘深淵,高水位	0.025	0.0275	0.030	0.035
(2) 同(1),有莠草與石	0.030	0.033	0.035	0.040
(3) 紆曲,有淺灘深淵而整潔	0.033	0.035	0.040	0.045
(4) 同(3),低水位	0.040	0.045	0.050	0.055
(5) 同(3),有雜草與石	0.035	0.040	0.045	0.050
(6) 同(4),多石	0.045	0.050	0.055	0.060
(7) 流緩,多雜草或極深淵	0.050	0.060	0.070	0.080
(8) 草木繁茂之區	0.075	0.100	0.125	0.150

⁺ R.E. Horton——“Some Better Kutter's Formula Coefficient,” Eng. News, Feb. 24, May 4, 1916.

* 常用作設計之數值。

(6) 當 $R > 1$ 公尺時, C 值依 S 之增而減。

(7) 當 S 加大時, 因 S 之增減而引起 C 值之變率減低;

$S > \frac{1}{1000}$ 時, C 之變率 ≈ 0 。

岡苦公式基於測驗塞因 (Seine), 維塞 (Weser), 萊因 (Rhine), 密西西比 (Mississippi) 等河, 故可用於坡度較緩之大河流。此式之優點, 在其應用之廣, 與 n 值之為一般工程師所素知。 C 值可由圖 13-2 或表 13-2 求出。

13-4. 曼寧公式* 曼氏為愛爾蘭 (Ireland) 工程師, 1890 年發表

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (13-11)$$

或
$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (13-12)$$

式內 n 值與苦特之 n 值同, $\frac{1}{n}$ 之尺度為 $L^{1/3} T^{-1}$, 故式 (13-11) 及 (13-12) 化為英制, 則

$$V = \frac{1.486}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (13-13)$$

$$C = \frac{1.486}{n} R^{1/6} \quad (13-14)$$

上列各式簡單易用, 且 C 值與 S 無關, 多用於普通河流之水坡 S 較陡者, 或渠道內。

* R. Manning — "Flow of Water in Open Channels and Pipes," Trans. Inst. Civil Eng. Ireland, Vol. 20, 1890.

表 13-2. 希蔡氏 C 值 (公制)

水力半徑 R (m)	糙 率	水 坡 S							糙 率	水 坡 S						
		S								S						
		0.0002	0.0005	0.001	0.002	0.004	0.001	0.01		0.0002	0.0005	0.001	0.002	0.004	0.001	0.01
0.05	n=0.010	38	44	51	54	56	57	58	n=0.013	28	31	35	38	40	41	42
0.1		49	56	61	65	68	70	71		36	41	44	47	49	50	51
0.2		63	70	74	77	78	79	80		46	50	53	56	58	59	59
0.3		72	77	81	84	85	85	85		53	57	60	63	64	64	65
0.5		83	85	88	90	91	91	91		62	65	67	69	69	70	70
1.0		100	100	100	100	100	100	100		77	77	77	77	77	77	77
2.0		115	111	109	107	106	105	105		93	87	85	84	83	82	82
3.0		124	117	113	111	110	109	108		99	94	89	88	87	85	85
5.0		134	123	118	115	113	112	111		108	100	93	91	90	89	88
15.0		151	135	125	121	118	117	115		125	114	102	98	93	94	92
0.05	n=0.017	19	22	24	26	28	29	29	n=0.020	15	18	20	21	23	23	24
0.1		25	29	32	34	35	36	36		21	23	25	28	29	29	30
0.2		34	37	39	41	42	43	43		28	30	32	34	35	36	36
0.3		40	43	45	46	47	47	48		33	35	37	38	39	40	40
0.5		47	49	50	51	51	52	52		40	41	42	43	43	44	44
1.0		58	58	58	58	58	58	58		50	50	50	50	50	50	50
2.0		71	69	67	66	65	64	64		61	59	57	56	55	55	55
3.0		78	74	71	70	69	68	68		69	64	61	59	59	58	58
5.0		87	79	75	73	72	71	70		76	70	66	63	62	61	61
15.0		105	93	83	79	77	76	75		91	81	74	70	68	67	66
0.05	n=0.025	12	13	15	16	17	18	18	n=0.030	10	11	12	13	13	14	14
0.1		17	18	19	20	21	22	22		13	14	15	16	17	18	18
0.2		22	23	24	25	26	27	27		18	19	19	20	21	22	22
0.3		26	28	29	30	30	31	31		21	22	23	24	24	25	25
0.5		31	32	33	34	34	35	35		25	26	27	27	28	29	29
1.0		40	40	40	40	40	40	40		33	33	33	33	33	33	33
2.0		50	48	47	46	45	45	45		42	41	40	40	39	38	38
3.0		56	53	51	49	48	48	47		46	45	43	42	42	41	41
5.0		64	59	54	53	52	51	50		56	51	47	45	44	43	43
15.0		81	71	63	59	57	56	55		72	62	55	52	51	49	48
0.05	n=0.035	8	9	9	10	10	11	11	n=0.040	6	7	7	8	8	9	9
0.1		11	12	12	13	13	14	14		9	10	11	11	12	12	12
0.2		15	16	16	17	17	18	18		13	14	14	15	15	16	16
0.3		18	19	19	20	20	21	21		15	16	17	18	18	18	18
0.5		22	23	23	23	24	24	24		19	19	20	20	21	21	21
1.0		29	29	29	29	29	29	29		25	25	25	25	25	25	25
2.0		33	35	34	34	33	33	33		32	31	31	30	30	29	29
3.0		42	40	38	37	36	36	36		37	35	34	33	32	32	32
5.0		49	45	43	42	41	40	39		44	41	39	38	37	36	36
15.0		65	58	51	47	45	44	43		59	52	46	43	42	41	40

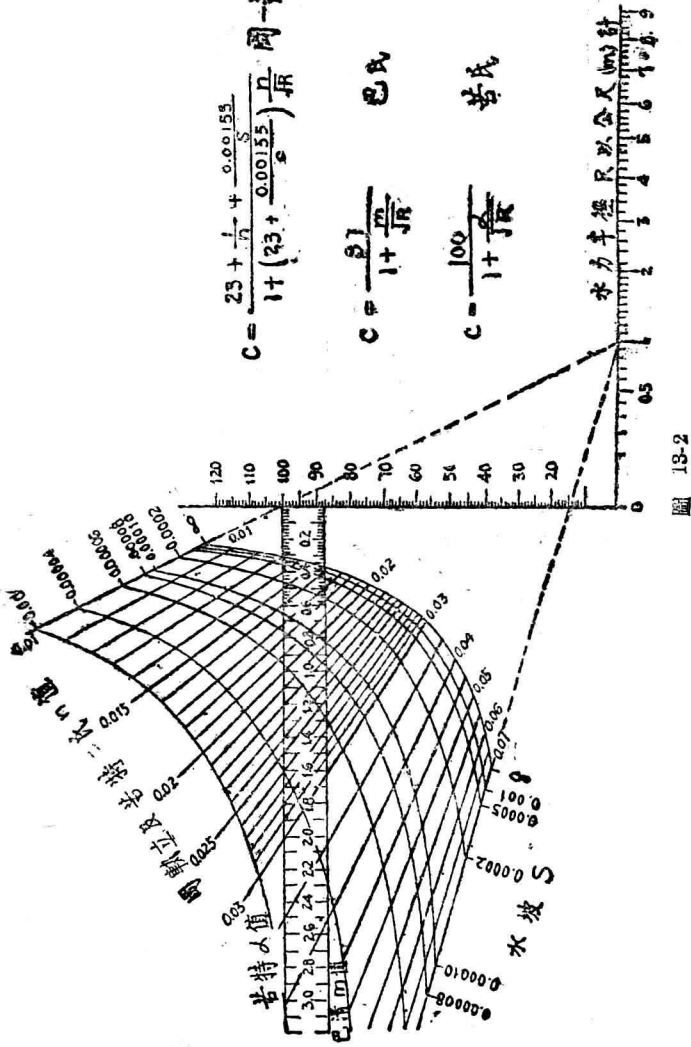
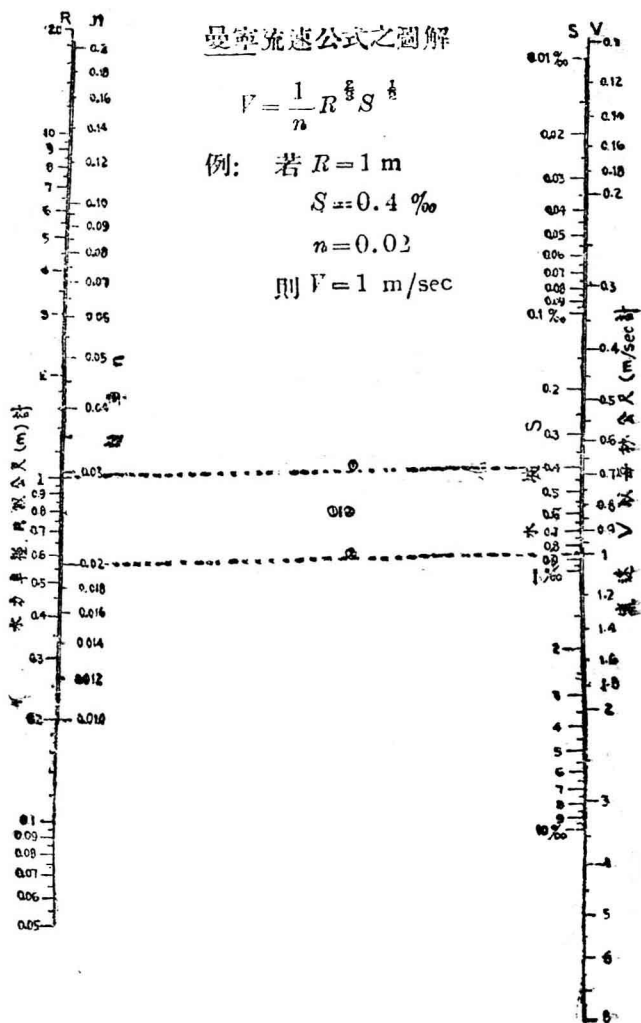


圖 12-3

曼寧流速公式之圖解

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

例: 若 $R = 1 \text{ m}$
 $S = 0.4 \text{ ‰}$
 $n = 0.02$
 則 $V = 1 \text{ m/sec}$



13-5. 巴青公式* 巴氏為法國水工學者，賜予吾人河渠流水之知識特多。1897年彼於深切研究所可利用之水文資料後，發表一新公式以計算河渠流速。其基本公式與岡苦二氏所用之基本公式同，即

$$C = \frac{y}{1 + \frac{x}{\sqrt{K}}}$$

巴青公式為

$$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{K}}} \quad (\text{公制}) \quad (13-15)$$

式內 R = 水力半徑， m = 糙率，與岡苦二氏之 n 不同。

若用英制，則

$$C = \frac{87 \times 1.811}{1 + \frac{1.811m}{\sqrt{K}}} = \frac{156.7}{1 + \frac{N}{\sqrt{K}}} \quad (13-16)$$

式內 $N = 1.811m$ 。

巴青為推求 m 或 N 之值，曾實驗六種糙率不同之水道，而得數值如下：

* H. Bazin — 'Etude d'une nouvelle formule pour Calculer le Debit des Canaux Découverts' — 'Annales des Ponts et Chaussées, 4th Trimestre, No. 41, 1897.