

778302

511

1004.2

實用水力學

(第二版)

Practical Hydraulics

原著者：Andrew L. Simon

譯述者：潘復興 劉柏宏

科技圖書股份有限公司

實用水力學

(第二版)

Practical Hydraulics

江苏工业学院图书馆

原著者：Andrew L. Simon

譯述者：潘復興 劉柏宏

藏書章

科技圖書股份有限公司

本書專為學習土木、水利、環境、營建，水土保持，農田水利等科系的大專用書。其中包含有關水方面的論題，諸如迴流、明渠、滲流、水文、水力結構以水利測量等均有列論，而與一般所稱的流體力學內容有別。因後者除水外，尚包括油與可壓縮氣體等的流動力學而適用於機械、航空、化工，車輛等科系所用者。由於水力學一門數十年來極少新書刊行，此為最近出版唯一的一種，內容耳目一新。特為譯出以供採用。

本公司經新聞局核准登記
登記證局版台業字第1123號

書名：實用水力學（第二版）

原著者：A. L. Simon

譯述者：潘復興 劉柏宏

發行人：趙國華

發行者：科技圖書股份有限公司

台北市復興南路一段360號7樓之三

電話：7056781・7073230

郵政劃撥帳號 15697

七十三年二月初版

特價新台幣44元

原 序

水力學，有如文明本身的古老。人類祖先，憑藉水力學直覺的瞭解，進行洪水控制、灌溉與給水。但不論經過的年代已有多久，水力學至今，在某程度上仍是一門不定性的科學，充滿着理論上的未定因數。雖然新的科學理論早已發展凌駕水力學之上，但水力學在人類生存鬥爭中仍具無比的重要性，實無庸置疑。

一世紀以來，人類對流體力學基本理論的瞭解，已有長足的進展。有力的數學分析，亦使這些基本理論與現實相結合。雖然如此，理論性的分析，對大多數實際的水力問題仍束手無策。也許，水力學中的直覺藝術成分較科學所佔為多。

造成水力學理論的不定性，其原因之一由於一大堆拙劣 (ill-defined) 的變數，這些變數甚至出現在某些極簡單的實際問題中。變數間常存在不為人知的相依性，而致不可能單憑流體力學理論獲致可靠的解答。因此，若認定水力學為單純的實驗流體力學，將失之過度簡化。

本書專對日常遭遇的水力問題作實用解答，提供重要資訊。但對理論流體力學教材中的內容，則敬而遠之。本書的取名，蓋因其與實際生活的關係密切，而非僅為某些理論觀念的應用。當理論結果的適當用法需要瞭解時，方將理論推演介入，但推演過程毋需涉及微積分。

各主題綱目的實際安排中，有將習慣上並列的題目分開。例如水壓力安排在第二章中討論，但液體測壓計則出現在第十章中。第九章討論的相似性，為水工結構模型分析的基礎，但縮減實驗數據的因次分析却遲到第十章中才被提及。

某些限在研究所程度的題材，本書對其作了很突出的處理。例如，在明渠流一章中，為簡化問題起見而有正常流的提出，但這種流況，在實際情形中並不一定出現。另如迴水與渠道輸水計算等主題，鮮

有出現在大學教材內，而又不涉及微積分者。不含理論性誘導以及詳盡例示的特點，爲實用派水力學者所樂聞。同樣，在滲流一章中所提供的圖表，多採自高程度研究所教材，其理論誘導則付之缺如，得因其具實用價值而獲得彌補。

流體性質一章中，強調了水的相態圖。在其他教科書均無內能、比熱與熱含量等觀念的探討。但若不詳論熱能於前，而欲討論水在河川及水力構造物內的形式與移動，實毫無意義可言。

流體力學定律一章，對各有關主題的處理較其他類似的教材更爲簡略。這是爲了儘快引進基本原理，並以隨後的章節，論述其實際的應用。本書對理論的推導並不重視，若非如此，吾人將自陷於水力不定性與理論嚴密性的冗長探討中，而徒增理論的複雜性，以致人們產生一種精度與準確度均隨之增進的感覺。在此巧妙處理之餘，原有的困惑雖可解決，但學生們可能產生一種錯誤的印象。

對着重實用的學生而言，在各章中論及泵、基本水文學、水力結構以及水流測量等項均極有用。在討論過測壓計與 Pitot 管後，雖其結論總是新型儀器，但文中仍對時下市上尚在流行的水流測量儀器多所羅列以供參考。

本書伴隨英制加附公制單位以求適應潮流。許多歐洲習用的設計圖表與公式亦散列在各章中。其中多數尚未被列入英系書籍中者。世界人口中百分之九十均已使用公制單位，美國亦正積極推行公制化。但欲將其立即轉換爲英制尚屬不易。本教材與例題兼用公英制單位，其原意在使學生同時熟悉用兩種單位制。

在第一版中曾發現若干計算上的誤差，以及若干不適宜處，經過讀者們的指出，現已在本版中將其逐一改正。

本人對 Albert Christensen、William Glazier、Garold D. Oberlender 及 Robert E. McGrath 諸君在初稿階段所提的建議以及 E. Colchamiro, DF. Singer, P. V. Ramakrishnaiah, P. L. Douglass, H. J. Bajarria 諸君對第二版的貢獻深致謝意。我特別要對 Paramath Pramoolkit 與 Simsek Saricelli 君的努力校稿以及準備許多有力的例題致謝。另蒙 Dorothy Guilliams 君耐心地爲手稿打字，在此

一併致意。

Andrew L. Simon 席蒙

目 錄

原 序

第一章 水的物理性質

1.1 水的內能與三相.....	1
1.2 質量、力與密度.....	5
1.3 表面張力、附着力與毛細作用.....	12
1.4 黏滯度.....	14
1.5 習 題.....	20

第二章 流體力學諸定理

2.1 流 率.....	21
2.2 質量守恒.....	26
2.3 力與動量.....	28
2.4 動量守恒.....	31
2.5 功、能量與動力.....	35
2.6 能量守恒.....	37
2.7 能量傳遞的觀念.....	41
2.8 習 題.....	43

第三章 水 壓

3.1 靜水壓與靜水力.....	45
3.2 垂直與傾斜面.....	47
3.3 曲 面.....	56

2 實用水力學

3.4 浮力	58
3.5 習題	61

第四章 管內流

4.1 經驗法	62
4.2 科學法	64
4.3 輸送法	75
4.4 局部損失	80
4.5 管路系統設計	88
4.6 水錘	94
4.7 其他不穩定流	103
4.8 習題	106

第五章 泵

5.1 泵的分類	108
5.2 比速	109
5.3 水頭與動力要求	111
5.4 泵的選用與改造	120
5.5 容許吸升水頭	122
5.6 故障處理	125
5.7 泵的並聯或串聯	126
5.8 習題	129

第六章 滲流

6.1 概說	131
6.2 滲透性與滲流壓力	131
6.3 滲流分析	136
6.4 自由面問題	149
6.5 井水流出量	155
6.6 異常滲流問題	162

6.7 變量滲流·····	166
6.8 習 題·····	166

第七章 水文學原理

7.1 設計流量·····	168
7.2 雨量統計·····	169
7.3 洪水量·····	173
7.4 單位歷線圖法·····	178
7.5 洪水演算·····	184
7.6 洪流延時分析·····	190
7.7 習 題·····	191

第八章 明渠流

8.1 比能與臨界流·····	193
8.2 非臨界流況·····	203
8.3 正常流觀念·····	212
8.4 穩定渠道的設計·····	226
8.5 明渠流的自然條件·····	229
8.6 迴水與渠道輸水計算·····	235
8.7 習 題·····	257

第九章 水力構造中的水流

9.1 孔口與洩水道·····	260
9.2 閘門下的水流·····	264
9.3 堰·····	270
9.4 溢水道·····	280
9.5 消能設施·····	286
9.6 涵 洞·····	293
9.7 下水道設計·····	304
9.8 複雜構造物－模型分析法·····	306

4 實用水力學

9.9 一般設計考慮因素.....	316
9.10 冰的形成與控制.....	317
9.11 習題.....	320

第十章 水流測量

10.1 水流測量的種類.....	322
10.2 管流的測量.....	323
10.3 河流測量.....	345
10.4 小溪流測量.....	351
10.5 水力構造物的流量量測.....	359
10.6 實驗數據之歸正與表示.....	365
10.7 習題.....	373

附錄 A

A.1 公制用法.....	375
A.2 傳統美制.....	379
A.3 換算因數與重要量值表.....	381

附錄 B

體積換算因數表.....	384
流量換算因數表.....	384
雨量及逕流量換算因數表.....	385
動黏滯度換算因數表.....	385

附錄 C

渠道斷面的幾何性質.....	387
$N^{3/2}$ 函數值表 (自 0 至 5).....	388
$N^{5/2}$ 函數值表 (自 0 至 5).....	390
動能項 $v^2/2g$ 公制值表.....	391
$\sqrt{2gh}$ 函數值 (公制單位).....	393

習題解答	396
------------	-----

參考資料	399
------------	-----

第一章 水的物理性質

實際上，在各種不同狀況所遭遇水的行徑，均依其基本的物理及化學性質而定。這些性質，實操於水的分子結構與其內能。本章所提的術語與概念，在往後各章中將予引用。

1.1 水的內能與三相

水，是氫與氧的化合物。每個水分子均帶有一個氧原子與兩個氫原子。水分子群間或多或少被氫原子所束縛着。這種原子鍵稱為氫鍵。氫鍵的強度，或稱使水分子，集合一團的能量大小。端視其溫度與壓力而定。溫度與壓力，是能量的表徵。

能量，一般用 (joule) (J) 來度量。1 J 即 1 N (newton) 的力，在 1 M 距離下所做的功。熱能 (heat energy) 用 (caloriescal) 表示。1 cal 意即使 1 g 的水加熱升高溫度 1°C 所需的能量。(與 cal 相當的英制單位為 BTU) 1 BTU 等於 1055 J 或 25 cal。

由於水的內能含量 (internal energy content) 不同，計固態、液態、汽態三相。冰雪為水的固態，空氣中的濕氣與水汽為的汽態。水的不同狀態，稱為相 (phases)。氫鍵中能量的大小，定水應處的相。當為固態時，所有的氫原子相互束縛，在液態時，僅有少數氫原子相互束縛，在汽態時便全無束縛。水是種穩定的化合物，除非溫度高達數千度°C，氫氧原子間的結合鍵尚不至斷裂。

使物質升高溫度 1°C 所需的能量，稱為比熱 (specific heat)。冰與水的比熱分別為 1.95 與 4.19 J/gk (joules per gram per degree Kelvin)*。水汽的比熱，在常壓及常溫下，分別為 1.1

* 此 K 溫標與 C 溫標的 273.15 °C 等效。

2 實用水力學

與 1.35 J/gk 。

這意指；在等量的情況下，加熱所需的能，用於水者較冰為少，用於水汽者較水為少。

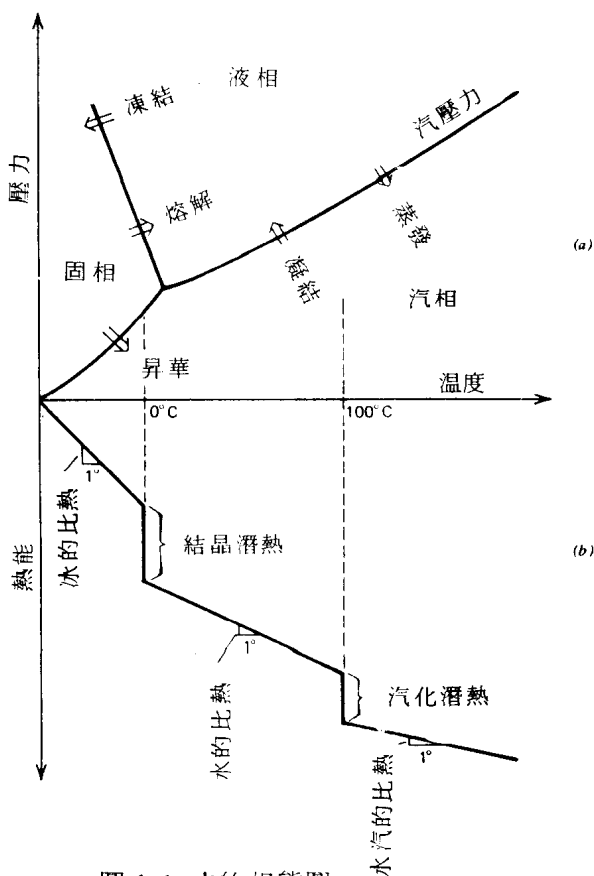


圖 1.1 水的相態圖

因能含量 (energy content) 的不同，水有不同的相，示如圖 1.1 a。圖中兩座標軸分別代表能量的兩種形式，壓力與溫度。圖示三個區域，水在其中，分處固態、液態、汽態三種狀況。相與相間作轉

換時，壓力與熱能亦隨之改變。因此，可藉增減能量以改變其相，這種使一相改變為另一相所需的能量，稱為潛熱 (latent heat)。圖 1.1b 說明常壓下與水溫度變化相關的比熱與潛熱的觀念，由固態變為汽態，每 g 水需 2834 J 的能量，此即冰昇華 (sublimation) 的潛熱。在寒冷但晴朗的冬天，常見冰雪在這過程下不經融化而消失，其昇華所需的熱；係由陽光中攝取。

冰，從固態融為液態謂之融解 (fusion) 每 g 水的融解潛熱為 334 J。凍結 (freezing) 的程序則相反，每 g 水在凍結時需消失 334 J 的能量。

每 g 水自液相變為汽相，所需汽化 (vaporization) 的潛熱為 2500 J 至於蒸發 (evaporation)，其過程較為複雜。湖水的熱含量 (heat content)、輸入流水中熱能量的多寡、將潮濕空氣帶離水面的風速、太陽的輻射熱以及氣溫等，均對蒸發率 (rate of evaporation) 有影響。緯度 45° 及 68° F 與海平面等高的水面，所受的標準大氣壓 (the standard atmospheric pressure) 為 14.7 psi。若溫度升到沸點 (100°C 或 212°F) 水即開始蒸發。當高程增加則氣壓降低，因而水之沸點將低於 100°C。水由液相轉為汽相時之壓力稱為汽壓力 (vapor pressure)。圖 1.1a 中畫分液相與汽相的界線，說明了汽壓力與壓力和溫度有關，示如表 1-1。

例題 1.1

500 g 冰自 -3°C 升到 +10°C 的水，需熱能若干？

解：冰的比熱為 1.95 J/g°C，因此，使其升到 0°C 時需

$$1.95 \times 500 \times 3 = 2925 \text{ J}$$

水的融解潛熱是 334 J/g，融解冰塊需

$$334 \times 500 = 167,000 \text{ J}$$

水的比熱為 4.19 J/g°C，加溫水需

$$4.19 \times 500 \times 10 = 20,950\text{J}$$

因 1 BTU 爲 1055J，所以等於 180.92 BTU

1 BTU 等於 777.5ft-lb 的能量，因而所需的能量爲

$$180.92 \times 777.5 = 140,665.3 \text{ ft-lb}$$

在密閉系統中，例如管道 (pipes) 或泵 (pumps)，即使溫度不變，仍因壓力的改變而致水的相改變。

常用的水的汽壓力，英制中爲 0.34 lb/in² (當標準大氣壓及 68°F)。日常的水利設計，水的汽壓力常是最重要者。泵的吸管 (suction pipes) 中與驅輪 (impellers) 的尖端處，水的壓力經常低於汽壓力。在這種情況下，水變成水汽 (vapor)。汽泡 (vapor bubbles) 不斷向高壓處移動，以巨大的聲響猛然破裂，對管道與泵造成嚴重損害。此種損壞過程稱謂穴蝕 (cavitation)，是設計中應竭力避免的。

公制中比數值等於位於 20 °C 時之水柱高爲 0.24m，如上所述，假如位於海平面上之大氣壓力爲 9.75 m 的水柱高，此即表示 9.75 m 減 0.24m，或 9.51m，爲泵能夠自吸水管，將水升起之高度在理論上之最大限度實際泵中出現的真空高度要比此低得多。

表 1-1 水的汽壓力

溫 度 °C	絕對壓力 *	
	newton/m ²	psi
0	613	0.0889
10	1226	0.1779
20	2335	0.3384
40	7377	1.0695
60	19,924	2.8893
80	47,363	6.8676
100	101,376	14.6984
105	120,869	17.5239

* 絕對壓力，可確定爲空曠水面上的壓力 (工程中的實用值爲零) 加上由於其上方大氣而來的壓力。

例題 1.2 :

設於某山區標高 3000w 的泵，該處的大氣壓力較海平面要低 29% (按氣壓計上所指示的數值計)，氣溫為 10°C 問泵用吸水管中的靜水柱的理論最大高度為何？

解：若海平面上的標準大氣壓力為 9.75m 水柱高，則位在泵位置的大氣壓力低達 29% 時為

$$9.75 - 0.29(9.75) = 6.92 \text{ m}$$

自表 1-1 查得水的汽壓力為 1226 N/m²。由下節中說明得知，此值等於 0.125m 水柱高。

求泵用吸水管中靜水柱的理論上最大高度時，必需將此值自該處的大氣壓力中減去，即得

$$6.92 - 0.125 = 6.8 \text{ m}$$

注意當標高增加，則大氣壓力降低，同時溫度亦降低，汽壓力亦降低，若本題中的泵所抽取的水為熱水，則因汽壓力而起所需縮減的數值，會使吸水管中水柱的理論上最大高度大為降低。

1.2 質量、力與密度

每單位體積水所含的質量 (mass) 稱謂密度 (density)。其值依單位體積內所含水分子數而異。當然，此又涉及水分子的尺寸與其鍵間的結構形式。後者與溫度及壓力有關。水的獨特分子結構以及在固態時水分子結構的改變，使成為因凍結而發生膨脹現象的極少數物質之一。這個因凍結而膨脹的特性，導致剛性容器中應力 (stress) 的產生。這些應力促使岩石風化，設計者若未考慮此項應力，亦將造成管道與結構物的損壞。

接近凍結點 (freezing point) 3.98°C 時，水的密度達於極

6 實用水力學

大值。表 1-2 列出不同溫度下水的密度。英制的密度單位為 slugs/ft^3 。1 slug 等於 1 lb 力產生 $1 \text{ ft}/\text{sec}^2$ 加速度時的質量。大氣壓力與 69°F 時，水的密度為 $1.94 \text{ lb} \cdot \text{sec}^2/\text{ft}^4$ 。

表 1-2 列示液態水與冰的密度不同，這也說明何以冰浮於水上的道理。

海水含有塩份，其密度為 $1.99 \text{ slug}/\text{ft}^3$ ，較淡水約高出 4%。

表 1-2 水的密度

溫 度 $^\circ\text{C}$	密 度	
	g/cm^3	slugs/ft^3
0 ice	0.917	1.779
0 water	0.9998	1.9406
3.98	1.0000	1.941
10	0.9997	1.940
25	0.9971	1.935
100	0.9584	1.860

當論及單位重 (unit weights)，則國際制 (SI) 單位 (英制中襲用的重量與量度單位) 以及某些地域所用的公制單位，它們所作的不同解釋，將產生極大混淆。

例如依 Newton 定律力等於質量加速度

$$F = m \cdot a \quad (1.1)$$

SI 制中質量的單位是 kg (kilogram)。力，從從屬因次 (secondary dimension)，被定義為

$$\text{力} = \text{kg} \times \text{重力加速度}$$

稱為 (newton) 用 N 表示。

英制中，計有絕對或重力制 (absolute or gravitational systems)，在工程上以使用重力制為宜。英式重力制中， lbf (pound force) 與 Ft (foot) 及 S (second) 均為基本單位 (primary unit)。質量為從屬單位。可自 Newton 定律推演：