

169687

基本馆藏

263331

專科學校用書

水 力 學

顧 兆 勳 編 著
姜 國 寶 校 訂



中國科學院圖書儀器公司



443-1
3182

序

水力學是一門基本的工程科學，它的應用範圍很廣，大之建造閘壩，控制河流；小之修造渠道，設計水管，無所在而不需要水力學。如果把各方面的應用問題一一列出，顯然不是一本書所可包容，因此在學習水力學時要在能“明確觀念，掌握原則，結合實際，靈活運用”，夫然後才能得心應手解決問題。

在這一本書中，著者曾特別注意到下列幾點：

(1)儘量的解釋各種現象和各項名詞的物理觀念，使初學者不停留在抽象的想像之中。

(2)在理論方面，化繁為簡，不使學者迷盲於數學公式之中。但對於幾個基本公式，則不厭其詳的反復加以說明。

(3)如果只講理論，不談應用，則學者將停留於抽象的理論階段，而不能結合實際。因此在每節之末，都附着幾個實際問題的分析與計算，以啟發學者的思想。

以上幾點，是著者在寫稿時所時刻注意到的。

這一本書，沒有涉及到流體力學的範圍，因此只可視作實用的水力學課本，足供一學期每週三小時的講授教材。如果採作專科用書，則有些較為深入的問題，如水管網的分析，水面曲線等，在時間上感覺不足時，可分別的加以選擇和忽略，而不致失去全

書的連貫性。但是如果採作大學土木系的課本，則著者主張全部講授不加削減。

著者工作忙碌，抽暇寫成此書，蒙姜國寶教授予以校閱，著者謹誌謝意。但貽誤之處，仍所難免，讀者如有改善及指正意見，著者深願接受。

顧兆勳

一九五三年六月，京南

第一章 概論.....1-12

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| 1-1 水力學定義..... 1 | 1-7 壓縮性..... 6 |
| 1-2 學習水力學的目的..... 1 | 1-8 表面張力..... 8 |
| 1-3 液體與固體和氣體不同之點..... 2 | 1-9 水之物理性質..... 10 |
| 1-4 液體的物理性質..... 3 | 1-10 理想流體..... 10 |
| 1-5 重量..... 3 | 習題 4 則..... 12 |
| 1-6 黏滯性..... 4 | |

第二章 靜水力學..... 13-53

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 2-1 靜水力學和動水力學的區分 13 | 2-12 亞幾米德定理..... 29 |
| 第一節 壓力強度 | 2-13 平衡..... 30 |
| 2-2 壓力強度的意義..... 13 | 2-14 平衡穩定的條件..... 32 |
| 2-3 關於壓力強度的各項規律..... 14 | 2-15 定傾中心位置的確定..... 34 |
| 2-4 壓力水頭的意義..... 15 | 2-16 例題舉隅..... 38 |
| 2-5 計算壓力的起點..... 16 | 第四節 相對平衡 |
| 2-6 例題舉隅..... 17 | 2-17 相對平衡..... 40 |
| 第二節 總壓力和壓力中心 | 2-18 整個液體具有水平之移動..... 41 |
| 2-7 總壓力問題..... 20 | 2-19 整個液體具有垂直的移動..... 42 |
| 2-8 平面上之總壓力..... 21 | 2-20 整個液體具有等角速的旋轉動作..... 43 |
| 2-9 任何表面上總壓力的水平和垂直方向分力..... 23 | 2-21 水面受筒蓋限制的情形..... 45 |
| 2-10 例題舉隅..... 25 | 2-22 例題舉隅..... 46 |
| 第三節 浮力 | 習題 25 則..... 49 |
| 2-11 浮力問題..... 28 | |

第三章 動水力學之基本定理..... 54-89

第一節 基本定理

- 3-1 動水力學中問題之性質 54
- 3-2 水流的種類 55
- 3-3 名詞之解釋 56
- 3-4 對於基本定理應有的觀念 57
- 3-5 連續公式 58
- 3-6 各種水頭的意義 59
- 3-7 柏諾里公式 60
- 3-8 動量公式 63
- 3-9 橫過流線之壓力變化 65
- 3-10 例題舉隅 66

第二節 量水的方法及設備

- 3-11 量水設備及方法概說 69
- 3-12 標準噴孔的流量公式 70
- 3-13 噴孔洩水時間 72
- 3-14 矩形堰孔 73
- 3-15 三角形堰 77
- 3-16 潛堰 78
- 3-17 文求瑞量水儀 79
- 3-18 畢托管 82
- 3-19 例題舉隅 84
- 習題16則 87

第四章 管流..... 90-139

第一節 水流之阻力損失

- 4-1 水流阻力問題 90
- 4-2 雷諾試驗 91
- 4-3 兩種水流情形下阻力的性質 95
- 4-4 線流和混流的區分 97

第二節 管流理論

- 4-5 管流之性質 98
- 4-6 水管阻力公式 100
- 4-7 水管系統中的各種損失 105

- 4-8 水力坡線 112

第三節 管流問題

- 4-9 具有各項次要損失之管路 115
- 4-10 管路中帶有抽水機之問題 118
- 4-11 在水力坡線以上之管路 119
- 4-12 三水庫問題 122
- 4-13 管路分歧的問題 127
- 4-14 水管網之計算 129
- 習題15則 137

第五章 明渠水流..... 140-188

第一節 概論

- 5-1 明渠水流之性質 140
- 5-2 總能比能及能量線 141
- 5-3 明渠斷面中流速之分佈 143

第二節 等速流

- 5-4 在等速流中怎樣表示阻力 144
- 5-5 希察公式 144
- 5-6 C 值的計算 146
- 5-7 希察公式的應用 148
- 5-8 渠道的容許流速 150

5-9 渠道的經濟斷面.....	150	躍的計算.....	167
5-10 例題舉隅.....	152	5-16 水面曲線.....	170
第三節 變速流		5-17 水面曲線的微分方程式.....	174
5-11 臨界流.....	157	5-18 水面曲線的分類.....	176
5-12 比能曲線和流量曲線的繪畫.....	162	5-19 控制斷面.....	179
5-13 水躍.....	163	5-20 例題舉隅.....	180
5-14 水躍的圖解方法.....	166	習題12則.....	187
5-15 水工技術建築物下游產生水			

第六章 水之衝力及水力機械..... 198-212

第一節 水之衝力

6-1 動量公式之應用形式.....	189
6-2 水衝到固定平板上所產生的力.....	192
6-3 水衝到固定葉瓣上所產生的力.....	194
6-4 水衝到移動葉瓣上所產生的力.....	195

第二節 水力機械

6-5 衝擊式水輪之原理.....	198
6-6 噴水的反應力.....	200
6-7 反應式水輪.....	202
6-8 吸水管.....	205
6-9 離心式抽水機.....	206
6-10 水力機械的性能曲線.....	210
習題6則.....	212

附錄..... 213-220

表 1. 鑄鐵管鋼管及混凝土管在清潔光滑狀態下的 f 值.....	213
表 2. 平滑的木條管之 f 值.....	214
表 3. 90°彎管損失水頭係數表(豪夫門之試驗成果).....	215
表 4. 活門損失係數的試驗成果表.....	216
表 5. 河渠粗糙率 n 之值(應用於耿固葉及葛奈公式).....	217
表 6. 巴濟公式中之 m 值.....	217
表 7. 巴夫洛夫斯基公式中的粗糙係數之值.....	218
表 8. 按巴夫洛夫斯基公式而計算的係數 C 之值.....	219
表 9. 奧格洛斯金公式中 K 與 n 之相應值.....	220
表 11. 斯里勃耐研究奧格洛斯金公式應用於天然河道中應採用之 n 值.....	220

第一章

概論

1-1 水力學⁽¹⁾定義 水力學是一種實用的科學，研究液體在靜止時和運動時的各種現象，並且歸納成為定理與公式，以供我們在計算及測驗時的應用。

基於上述定義，水力學可以分為兩個部分，研究靜止時液體現象的叫作靜水力學⁽²⁾；研究動作中液體現象的叫作動水力學。本書即依照這種範圍而分類。關於動力學部分，也有人再分之為二部，其一專門研究水的運動叫作水之動態學⁽³⁾，其他專門研究受力之情形叫作水之動力學⁽⁴⁾。

1-2 學習水力學的目的 語云學以致用，我們學習水力學也是以實用為目標的。水力學的實用範圍有二，第一是測驗，第二是預計。在水力學中，我們常常利用許多數量，例如流量、流速、壓力等來表示流水的情形。我們所接觸的實際問題，無論是工程設計，或者是試驗研究，對於實在情形，常是必須知道的。因此對於若干數量，必須設法測出。當然，測驗的方法，可以是直

(1) Hydraulics

(2) Hydrostatics

(3) Hydrokinematics

(4) Hydrodynamics

接的，也可以是間接的。但無論如何，總不能不借助於水力學的原理，所以學習水力學是作測驗的準備。

只會測驗，而不會預計，也不能完成一個工程師的任務。譬如設計一個給水的系統，必須事前按照實際的需要來預先計算出水管的尺寸和抽水機的大小，倘若不會預計，那只有事前盲目的任意選擇，建築後再加以測驗，纔能知道合用與否。但是巧合的機會是極難遇到的。所以學習水力學是利用其原理和公式而達到事先計算的目標。

1-3 液體與固體和氣體不同之點 每一種力學都是根據研究對象的性質而成立的。水力學既然以液體為研究對象，而液體又與固體和氣體有許多不同之點，為了澈底的明瞭水力學，對於牠們的異點，有加以敘述的必要。

液體與固體不同之點有四：

1. 液體隨着容器的形狀而變化。
2. 液體不能抵抗張力⁽¹⁾。
3. 固體中如果發生剪力⁽²⁾，將發生一定的變形。但是在液體中，如果有微些的剪力即可使變形無限的加增。
4. 在固體中剪力和變形的大小成比例。在液體中剪力之大小要着變形的速度而定。

液體與氣體不同之點有三：

(1) tension

(2) shear

1. 液體不易壓縮，但氣體受到壓力體積很容易減小。
2. 液體的體積，大致不變。而氣體總是充滿了牠的容器。
3. 液體同空氣接觸的地方，成為自由表面⁽¹⁾。而氣體就沒有這種表面。

1-4 液體的物理性質 液體的性質可以分為兩類，一種性質，如顏色、嗅味、溶解性、沸點、冰點等屬於化學範圍之內，稱為化學性質。這些都和研究水力學沒有什麼關係，因此在本書中不擬加以敘述。另一種性質都是屬於物理學範圍之內，對於牠們的了解是學習水力學所必要的。最重要的液體的物理性質有四，按照其重要性來講，應當順着下列的次序。

1. 重量
2. 黏滯性⁽²⁾
3. 壓縮性⁽³⁾
4. 表面張力⁽⁴⁾

以下對於液體的物理性質將分別的加以述說。

1-5 重量 重量是地心吸力的表現，也是液體發生壓力的根源。液體在動作時所表現的惰性⁽⁵⁾，也要依照其重量而確定，因此這個性質，在水力學中極為重要。

(1) free surface

(2) viscosity

(3) compressibility

(4) surface tension

(5) inertia

這個性質可以用三種方法來表示：第一種方法是用單位重量；第二種方法是用密度；第三種方法是用比重。至於牠們的數值則必須取決於試驗。三種數值的相互關係可以用下式來表示，

$$\gamma = g\rho \quad (1-1)$$

$$\frac{\gamma'}{\gamma} = S \quad (1-2)$$

式中 γ 代表水之單位重量

γ' 代表任一種液體之單位重量

g 代表地心常數其值為 9.80 m/sec^2

ρ 代表水之密度

在一般的水力學中都是採用單位重量。在普通情形下，水的單位重量約為清水 1000 kg/m^3 海水 1025 kg/m^3 。按理來講，這數值應當隨着溫度，以及其中所含有的溶解物和浮懸物而有微些的變化。上列數字不過是在一般情形下所常被採用的。

1-6 黏滯性 黏滯性是液體中發生阻力的根源。必須在相鄰分子有相互的移動時，牠纔能發生作用。

當我們用一根木棍在液體中擾動時，必然會感到阻力。如果在兩種不同的液體中，用同一的速度擾動，也必然會感到不同的阻力。這表示兩種液體具有不同的黏滯性。又如液體在流動時，黏滯性也發生作用。從一個瓶中向外倒油，在夏天絕無問題，而在冬天常感到油之不易流動。這是因為液體在溫度低的

時候黏滯性加大的原故。從這兩個例中，我們可以得到一種觀念，液體黏滯性的大小，可以表現於牠的稠度。稠度愈大，黏滯性也就愈大，稠度愈小，黏滯性也就愈小。

如果我們想像在液體中作一平面，在任一點上，可能發生的力有二種。其一和平面垂直，叫作壓力；其他和平面平行，叫作剪力。在平面兩邊的分子，無論有無相互的移動，壓力總會發生。但是阻力的發生，就非有兩邊分子的相互移動不可。在靜力學中，液體相鄰分子沒有相互的移動，因此黏滯性不發生作用，我們只須要處理壓力問題，而不須顧及阻力問題。

爲了要表示液體的黏滯性，我們可以想像有兩塊平行的平板，中間爲水所充滿，如圖 1-1 所示。下面的平板固定不動，上面的平板向右以速度 V 移動。於是鄰近上面平

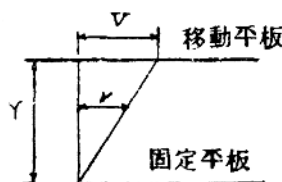


圖 1-1

板的分子有向右的速度 V ，鄰近下面平板的分子其速度爲零，而中間的液體分子的速度，則向上漸漸加增。

設 A 爲平板之面積

F 爲使上面平板向右移動所需之力

τ 爲上面平板每單位面積所感受之阻力，也就是剪力

V 爲上面平板之速度

Y 爲兩板間之距離

於是得 $F \propto V/Y$

$$\therefore \tau = \frac{F}{A} \propto \frac{V}{Y}$$

$$\therefore \tau = \mu \frac{V}{Y}$$

如果把上述兩塊平板，看作是在水中相距 dy 的兩個平面，則上式可以變作

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (1-3)$$

式中 μ 叫作黏滯係數⁽¹⁾，也就是前式中的比例常數，其單位為 FTL^{-2} 。在公制中，以公分為長度單位，以秒為時間單位，以達因為力之單位，則黏滯性之單位為泊 (1 泊⁽²⁾ = 達因秒/公分²)。

1-7 壓縮性 受到壓力，體積就會變小，這是一般物體的通性。在固體中，受壓的變形，可以用長度來表示。但液體的流動性很大，不必受到壓力，只要更換一個容器，就可以使得尺寸完全改變，所以牠的壓縮程度，只有用體積來表示了。根據格拉西⁽³⁾的試驗，在 68 個大氣壓力範圍以內，每加增一個大氣壓力 (1.03 kg/cm²)，可以使水的體積縮小二萬分之一。又根據海蒂⁽⁴⁾的試驗，增加壓力到四千四百個大氣壓時，水的體積減小，不過百分之十。因此我們知道應用格拉西的結論，應當不超過他的試驗範圍，纔不致發生差誤。

普通遇到的一般應用問題，壓力都不超過格拉西的試驗範圍。

(1) coefficient of viscosity (2) poise (3) Grassi (4) Hite

因此可以應用他的結論，來求水的彈性係數。水的彈性係數可以用下式表示

$$K = - \frac{p}{\Delta V/V} \quad (1-4)$$

式中 K 為水之彈性係數

p 為所受單位面積壓力

V 為水之原有體積

ΔV 為水受壓後體積之變化

式中的負號是表示壓力增加時，體積將減小。代入格拉西的結果得

$$K = \frac{1.03}{0.00005} = 20,300 \text{ kg/cm}^2$$

溫度有增減時，上值還有微些的出入，所以不如選用一比較整齊的數目，較為容易記憶。 K 值通常可以採用 $21,000 \text{ kg/cm}^2$ 恰為鋼的彈性係數 E 的十分之一。

水的壓縮性雖然存在，但是在水力學中，牠的彈性係數 K 並不常見。其理由是在一般的問題中，水所受到的壓力，不足以使水發生顯著的體積變化。顧及了這種微不足道的差誤，將使計算非常複雜，而所影響的數字，也在一般工程計算的確準範圍以內，因此不如忽略了這種過分的精緻。除非在特殊的問題中，水受到很大的壓力外，我們可以把水當作不壓縮的液體。為了使學者得到一個澈底的了解，我們可以看一看水在受到七十個大

氣壓的情形，其體積減小，纔不過千分之三強。在平常一般的問題中壓力更遠小於此。

1-8 表面張力 物體分子相互吸引。在同類分子間存在着的吸力，叫作凝聚力⁽¹⁾；在異類分子間存在着的吸力，叫作附着力⁽²⁾。譬如在一塊木板下，倒掛着一個小水珠。地心吸力是向下的，但是水珠竟能懸掛不墜，這是因為水分子和木分子間的附着力。水分子也有許多，並不是全體和木板接觸。但是牠們竟能聚集成珠，而不散漫，這是由於水分子間的凝聚力。我們最應當注意到，水珠表面的一層分子，似乎相互吸引，成爲一種薄膜了。一般的講，液體和氣體接觸的地方，成爲自由表面。由於凝聚力的關係，表面上呈現一種薄膜狀態。在這表皮的任一斷面，都存在着一個很小的張力，叫作表面張力，通常用 σ 表示。因為表皮的厚度極小，我們只能用每一單位長度所承受的張力，爲計算依據。

把一根細玻璃管插入水中少許，其餘部分露在水面以上，管中的水面常是高出於管外的水面，這種現象叫作毛細管作用⁽³⁾。這

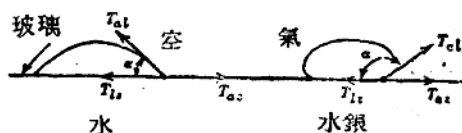


圖 1-2

(1) cohesion

(2) adhesion

(3) capillarity

種現象發生的原因，可以用表面張力來解釋。

把一個水珠或水銀珠放在玻璃板上，如圖 1-2 在接觸點 a 由於凝聚力和附着力的大小關係，該處表面的切線將與玻璃面成一個固定的角度 α ，叫作接觸角。水和玻璃的接觸角是 $25^{\circ}32'$ ；水銀和玻璃的接觸角是 $128^{\circ}52'$ 。

在一根玻璃管中，水面和管接觸的地方，都要相互成上述的角度。如果管徑夠大，兩邊傾斜的水面，互不相交，中間的水面當然可以保持常態。但是倘若管徑過小，兩邊傾斜的水面在管中相交，而形成一種彎曲的薄膜。根據以前的討論的，我們知道在薄膜的任何斷面，都



圖 1-3

存在着表面張力。但是要維持這彎曲薄膜的平衡，上面的壓力必須要超過下面的壓力。上面既然是大氣壓力，表面以下的壓力一定是小於大氣壓了。所以管中的水柱必然要上升到一種高度，使得牠的重量，可以平衡壓差為止。這種現象叫作毛細管作用。根據這種理論，可以得到計算水在細管中上升高度的公式，

$$h = \frac{28}{d} \quad (1-5)$$

式中 h 為上升高度以 mm. 計算

d 是管的直徑以 mm. 計算。

如果將細管插入水銀，管中的水銀面將行低落，這同水所表示

的恰恰相反。因為水銀和玻璃的附着力，遠小於水銀的凝聚力。基於這種現象，我們在作試驗時，如果用玻璃管以量取水而位置，必須特別小心，以免發生錯誤。為了避免受到毛細管作用的影響，管徑不宜小於十公厘。

1-9 水之物理性質 水力學研究的主要對象是水。以下把水的物理性質，列成一表，以供學者的參攷。按水力學的原理和公式，可以應用於任何液體，並不局限於水，不過應用於其他液體時，我們必須把公式中凡表示物理性質之數字，換為其他液體的相應數字。

1-10 理想流體⁽¹⁾ 在我們通常所遇到的問題中，壓縮性和表面張力都沒有什麼重要影響，可以不必顧及。但重量和黏滯性，則關係非常重大，不容忽視。如果把這兩種性質，同時加以考慮，在研究問題時，仍然感到困難。惟有暫時把黏滯性也取消，纔容易從數理方面推求出結果來，以作為一種基本的理論。隨後再用試驗結果加以校正，就可以切於實際了。因此我們就假定出一種所謂理想流體，它沒有黏滯性和壓縮性。因為在實際上沒有這樣的液體存在，所以名為理想的流體。

(1) ideal fluid

水之物理性質表⁽¹⁾

溫度 T (°C)	密度 ρ (gm/cm ³)	絕對黏滯係數 μ ($\frac{\text{dyne} \cdot \text{sec}}{\text{cm}^2}$)	動黏滯係數 ν (cm ² /sec)	表面張力 dyne/cm
0	0.999 868	0.017 938	0.017 940	75.64
1	927	17 320	17 321	
2	968	16 740	16 741	
3	992	16 193	16 193	
4	1.000 000	15 676	15 676	
5	0.999 992	15 188	15 188	74.92
6	968	14 726	14 726	
7	930	14 288	14 289	
8	876	13 872	13 874	
9	809	13 476	13 479	
10	728	13 097	13 101	74.22
11	633	12 735	12 740	74.07
12	525	12 390	12 396	73.93
13	404	12 061	12 068	73.78
14	271	11 748	11 757	73.64
15	127	11 447	11 457	73.49
16	0.998 970	11 156	11 167	73.34
17	802	10 875	10 888	73.19
18	623	10 603	10 618	73.05
19	433	10 340	10 356	72.90
20	0.998 232	0.010 087	0.010 105	72.75
21	021	09 843	09 863	72.59
22	0.997 799	09 608	09 629	72.44
23	567	09 380	09 403	72.28
24	326	09 161	09 186	72.13
25	074	08 949	08 975	71.97
26	0.996 813	08 746	08 774	71.82
27	542	08 551	08 581	71.66
28	262	08 363	08 394	71.50
29	0.995 974	08 181	08 214	71.35
30	676	08 004	08 039	71.18
31	369	07 834	07 870	
32	034	07 670	07 708	
33	0.994 731	07 511	07 551	
34	399	07 357	07 398	
35	059	07 208	07 251	70.38
36	0.993 712	07 064	07 109	
37	357	06 925	06 971	
38	0.992 994	06 791	06 839	
39	623	06 661	06 711	
40	246	06 536	06 587	69.56

(1) 取自水工名詞 196 頁