大學用書

普通水力學

（上冊）

劉德潤編著

正中書局印行

大學用書

普通水力學

（上册）

劉德潤編著

正中書局印行

中華民國三十四年六月初版
中華民國三十六年十月滬四版

普通水力學

（共二册）

上册　定價國幣拾貳元
（精裝本定價另加五元）
（外埠酌加運費匯費）

編著者　劉德潤

發行人　吳秉常
印刷所　正中書局
發行所　正中書局

（1608）

本（本）（戚）　2/2

序

水利事業，發達極早；而以數理與實驗解答水理之水力學，則為時甚暫．今日吾國各院校採用之水力學課本，多來自英美，不惟尺制與實用不合，且其內容每偏於實驗，而略於理論；歐陸若德若法之水力學，其尺制雖合乎我採用之十進制，然文字隔膜，亦非多數學者所易領會，故在我國欲求一完善水力學教本或參考書，殊為難事．

作者積教授水力學、高等水力學十數徧之經驗，集英美德法諸國名著二十餘種，取其長，舍其短，參以自己素日研究之心得，及實驗分析之結果，寫成是書．

本書凡十八章，計三十餘萬言，圖四百十二，表五十七，例題六十八，習題三百四十餘．取材理論實驗並重，詞句力事工整，釋義不厭精詳，譯名務求正確．十進制及英制之公式並列，且闡明其換算法，俾讀者根本了解應用尺制分析之原理．末附以中西名詞對照表，以資參閱．

本書之成，得力於至友杜君鎮福者良多．毛君昶熙、周君芳田、郭君青雲、張君家斌、李君昌榮、田君九昌、張君永福、劉君善健等均曾參預工作，謹此致謝！

劉德潤

國立西北工學院

三十一年七月七日

目次

第一篇　水靜力學

第一章　緒　論

1-1. 物體　在通常溫度與大氣壓力下,物體(substance)狀態,可概分爲固體(solid)與流體(fluid)二大類. 固體各質點間內聚力(cohesion)頗大,故常保持固有形狀與恆體積;惟在強大外力下亦能使之變形. 若外力不逾彈性極限,其變形之多寡,將與外力之大小成正比例. 流體則不然,其形狀隨境遇而變更,不需外力.

流體更依體積之壓縮性(compressibility)分爲氣體(gas)與液體(liquid). 少量氣體放入極大容器內,亦能瀰漫均勻,佔據全器;反之,若藉外力減縮容器體積,則其中氣體亦隨之收縮. 此氣體之特性也. 液體則不然,其體積甚恆定,即使予以極大壓力,其壓縮量仍屬甚小. 故通常多假定液體具有不能壓縮性(incompressibility).

各種液體,質點與質點間之黏滯性(viscosity)有大有小,大者曰黏滯液體(viscous liquid),幾與固體難分. 例如取瀝青一塊,以錘猛擊之,立碎,呈固體;然若於滿盛瀝青桶之側面開一小孔,則瀝青將徐徐自動流出,如是則呈流體矣. 黏滯性之小者曰稀液體(thin liquid),若黏滯性小至可視爲等於零者,曰理想液體(ideal liquid)或稱完全液體(perfect liquid). 故理想液體爲黏滯性等於零,且具不

能壓縮性之流體．然事實上無液體不可壓縮及無黏滯性者．此蓋純爲發揚理論及數學論證之方便而設之二假定也．本書卽基於上述二假定以研究水之靜止與流動；其黏滯性或壓縮性不能略而不計時，則隨時註明之．

1–2．水力學之定義 水力學英文名爲 Hydraulics，源於兩希臘字，$\upsilon\delta\omega\rho$ 及 $\alpha\upsilon\lambda o s$，前者爲"水"，後者指"管"，意卽研究管內水流之學也．故水力學原僅研究水流現象，今則兼及靜止之水．故可予以定義曰："水力學者，研究水之平衡與流動，並闡明其定律而臻應用之學也"．

1–3．水力學之範圍 水力學定義旣如上述，茲爲便於研究起見，可分爲下列二部：(一) **水靜力學** (hydrostatics)，研究水在靜止時之性能與定律，兼及其作用於物體上之力．(二) **水動力學** (hydrokinetics)，研究流水之現象，性能與定律，兼及其作用於物體上之力．

1–4．密度與重率 在某溫度與壓力下，物質單位體積內所含有之質量 (mass) 曰**密度** (density)．例如在標準大氣壓 (standard atmospheric pressure, 760 mm Hg) 與溫度 4°C 時，每一立方厘米之水，恰含質量一克 (gram 簡寫爲 gm)，故水之密度爲 1.

重率 (specific weight) 者，乃一物質在某溫度與壓力下，單位體積內所含有之重量也．

設　$\rho=$ 某物質之密度　　$w=$ 某物質之重率

　　$g=$ 重力加速度 $=9.81\mathrm{m}/\mathrm{sec}^2$.

則
$$\rho=\frac{w}{g} \tag{1-1}$$

或
$$w=\rho g \tag{1-2}$$

單位重量之物質所佔有之體積曰容度(specific volume)，若以 v 代表之，則
$$v=\frac{1}{w} \tag{1-3}$$

設基本單位 $F=$ 重量 (weight)，$L=$ 長度 (length)，$T=$ 時間 (time)，則 w，ρ 及 v 之單位為
$$w\approx FL^{-3} \tag{1-4}$$
$$\rho\approx FL^{-3}L^{-1}T^{2}\approx FL^{-4}T^{2} \tag{1-5}$$
$$v\approx L^{3}F^{-1} \tag{1-6}$$

以上各式中之符號 $\approx$ 示尺度恆等(dimensional equality).

水之重率與密度依溫度及壓力而變，在大氣中，溫度 4°C 時，其密度最大. 表 1-1 示水之重率及密度與溫度之關係.

表 1-1. 水之重率及密度(氣壓 =760 mm)

溫　度　°C	0	10	20	40	60	80	100
w, kg/m³	1000	1000	998	992	983	972	958
ρ, kg-sec²/m⁴	101.9	101.9	101.7	101.1	100.2	99.1	97.8

在通常大氣壓力與溫度時，如水含雜質不多，其重率可採用下列數值:

$$w=1\ \mathrm{gm/cc}=1\ \mathrm{kg/l}=1\ \mathrm{T/m^3}=62.5\ \mathrm{lb/ft^3}.$$

海水因溶鹽過多，其比重約為 1.025，故重率為 1025 kg/m³ = 64.0 lb/ft.³.

空氣之重率與密度如表1-2.

表1-2. 空氣之重率與密度(氣壓760mm)

溫 度 °C	—20	—10	0	10	20	40	60	80	100
w, kg/m^3	1.39	1.34	1.29	1.24	1.20	1.12	1.06	0.99	0.94
ρ, $kg\text{-}sec^2/m^4$	0.142	0.137	0.132	0.127	0.123	0.114	0.108	0.101	0.096

1-5. 水之壓縮率 水之壓縮率(compressibility)依其溫度,壓力及所含空氣之多寡而微異. 壓力增大, 則體積縮小. 按格拉西(Grassi)實驗結果,知水在0°C時,每增加一大氣壓即1.033 kg/cm²,其縮減之體積約爲原體積二萬分之一,即壓縮率等於0.05‰. 但當壓力增至70大氣壓後,則此壓縮率漸減. 海特(Hite)氏曾以65,000 lb/in²(約爲4420大氣壓)之高壓施於水而僅縮減其原體積之$^1/_{10}$,壓縮率約爲 0.022‰. 然普通水工上所遇之水壓力每小於70大氣壓,故採0.05‰爲壓縮率尙屬準確.

若壓力恆定, 溫度愈高,壓縮率愈小. 蓋低溫時水中所含空氣較多也. 三者之關係見下表:

表1-3. 水之溫度及其壓縮率之關係

溫 度 °F	32	40	60	90	150
水含空氣飽和時之體積百分率	2.88	2.56	2.10	1.78	1.49
壓縮率(格拉西實驗)	0.052‰	0.050‰	0.047‰	0.044‰	—

由上表可知溫度之影響甚微,可略而不計.

容積彈性係數(Bulk modulus)

設 V = 原容積, ∂V = 容積之縮減,由於壓力率 ∂p 之增加;

則得容積彈性係數
$$E_V = -\frac{\partial p}{\left(\frac{\partial V}{V}\right)} \tag{1-7}$$

式內負號示 ∂p 與 ∂V 之變化相反，即 ∂p 遞增時，∂V 遞減.

若 $\partial p = 1.0333\ \mathrm{kg/cm^2}$，$\frac{\partial V}{V} = -0.00005$，則

$$E_V = 21,000\ \mathrm{kg/cm^2}$$，爲水之容積彈性係數.

例題 1-1.　設海面上水之重率爲 1025 $\mathrm{kg/m^3}$. 問其在海面下 100 m深處之重率爲何？

解　設 ∂V = 1 $\mathrm{m^3}$ 海面上之水量於 100 m 深處所縮減之體積，w 爲該處海水之重率，則

$$\partial V = 0.00005 \times \frac{100}{10.333} = 0.000484\ \mathrm{m^3}.$$

$$\therefore\quad w = \frac{1025\times 1}{1-\partial V} = 1025.50\ \mathrm{kg./m^3}.$$

例題 1-2.　若水之體積絕對不能壓縮，則高 150 m 水柱，下端之 100 m 應高若干？

解　設 e = 水柱下端 100 m 之總壓縮量，A = 水柱端面 = 常數，由圖 1-1，知

$$e\cdot A = -\int_{50}^{150} 0.00005\times\frac{h}{10.333}\times dh\cdot A$$
$$= -0.048A,$$
$$\therefore\ e = -0.048\ \mathrm{m}.$$

故下端 100 m 水柱應高 99.952 m.

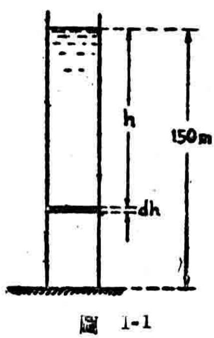

圖 1-1

1-6. 汽壓 靜止液體之分子亦時在運動中，其近於自由液面者，且易離液體而逸至空中，此種現象曰蒸發(evaporation). 若液面空間緊閉，則由液內逸出之分子，至一定限度後，雖仍不斷逸出，然一部之汽又轉回液中而二者適相平衡. 此時空間之液分子不再增多，是所謂飽和狀態. 汽壓力 (vapor pressure) 恰與汽張力 (vapor tension) 相等，且隨溫度之增高而加大. 溫度升至沸點時，汽壓亦增至與大氣壓力相等.

設液面緊閉之空間內，空氣壓力爲 p_a，汽壓力爲 p_v，則空間內之壓力率爲 $p=p_a+p_v$. 此理論曰道爾頓(Dalton)定律. 下表爲水之汽壓與溫度之關係。

表 1-4. 水之蒸汽壓力

溫 度 °C	p_v/w 水柱高以 m 計	溫 度 °C	p_v/w 水柱高以 m 計
−20	0.013	50	1.248
−10	0.029	60	2.02
0	0.062	70	3.165
10	0.124	80	4.692
20	0.236	90	7.135
30	0.429	100	10.333
40	0.747		

1-7. 表面張力 (surface tension) 物質各分子間之引力曰內聚力. 由牛頓(Newton) 定律，知引力之大小與分子間距離平方成反比，故若此距離超過一定值 r 時，則引力甚小，可略而不計. 以 r 爲半徑所作之球曰影響圈 (influence sphere)，r 曰影響半徑 (influence radius)．若某分子距自由液面等於或遠於 r，則其周圍分子之引力，方向相反，大小相等，此分子必平衡；反之，設分子 m 距液 NN 爲 a，而 a 小於 r（圖 1–2(a)），作對稱面 $N'N'$，介 NN 與 $N'N'$ 間之分

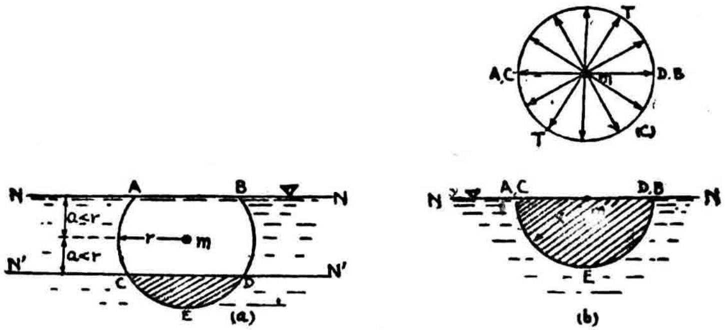

圖 1-2

子對 m 引力抵消，而影響圈內 $N'N'$ 下之分子均有拉 m 向下之作用.

圖 1–2 (b) 示 m 在水面時，受半影響圈 CDE 內各分子之引力，(c)示其作用．引力之切分力生一種張力於水面，此種張力作用於垂直方向之單位長，名曰**表面張力**或**毛細常數** (capillary constant)．以 T 表之，單位爲 F/L，液面往往以之而形成最小，曰滴(drop)．其特性如下：

（1） 液面上各方向 T 值相等；

（2） 液面上任一線所受之 T，必垂直該線；

（3） T 值與液面彎度無關；

（4） 液溫增高，則 T 值減小；

（5） 液溫不變，則液體與氣體或二液體間之 T 值爲常數；

（6） 液體與固體在空氣中相接觸，則接觸面之傾斜角(angle of inclination)α 必爲常數．例如在 20°C 時，
水對玻璃之傾斜角 $\alpha = 25°32'$，
汞對玻璃之傾斜角 $\alpha = 128°52'$．
各重要流體間之表面張力 T 見表 1-5．

表 1-5． 表面張力 T 値

流體	T $\left(\frac{gm\text{-}wt}{cm}\right)$
水——空氣	0.0770
汞——空氣	0.4700
酒精——空氣	0.0258
橄欖油——空氣	0.0327
橄欖油——水	0.0210
酒精——水	0.0023

毛細現象 液體與固體接觸後，若液體分子之內聚力小於其與固體之附着力時，則液面彎曲向上，此現象曰溼(wet)；若液體分子之內聚力大於與固體之附着力，則液面彎曲向下，此現象曰不溼（not wet)．是故若以微細之管插入可溼之液體內，則因附着力作用，近管緣處之液體上升（圖 1-3 a)．此曲面上表面張力之垂直分力將拉液體再向上行，曲面下之液體密度因而減小，下部液體上行彌補，如是則管內水柱將上升至其拉力與水柱重力相等時爲止．若以細管插入不溼之液體內，其作用完全相反（圖 1-3 b)．此種現象曰毛細現象(capillarity)．

今試就圖 1-2(b)觀之，上半影響圈內氣體分子對 m 亦有引力，

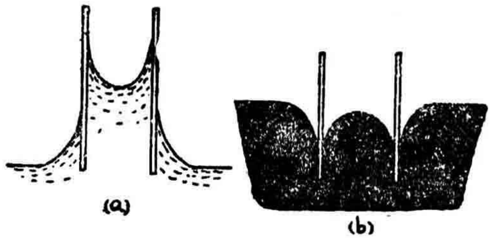

圖 1-3

惟較小耳. 故毛細現象亦可以下列理論申釋之:

圖 1-4 (a)及(b)示溼與不溼兩種液體與固體及氣體相接觸. 三

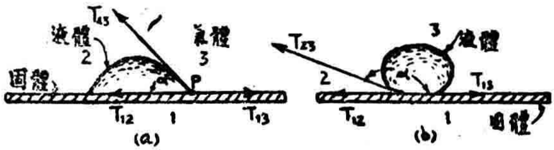

圖 1-4

者之交線經過 P 點，則此 P 點上共受三種表面張力，固體與液體間者爲 T_{12}，固體與氣體間者爲 T_{13}，液體與氣體間者爲 T_{23}. 若 P 點呈平衡，則

$$T_{13}=T_{12}+T_{23}\cdot\cos\alpha \tag{1-8}$$

若 $T_{13}=T_{12}+T_{23}$，則 $\alpha=0$，是時液體將被拉四散，覆蓋於固體上. 若 $(T_{13}-T_{12})$ 值爲負數，則 $\cos\alpha$ 爲負. α 爲鈍角. 然若 $T_{12}-T_{13}=T_{23}$，則 $\alpha=180°$，倘液體不多，即呈球狀立於固體上.

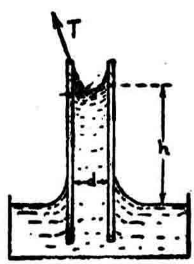

圖 1-5

毛細管內液柱上升高度 如圖 1-5 設液柱升高爲 h（由槽中液面量至液柱上端曲面之重心處），管之內直徑爲 d，液體與管之傾斜角爲 α，液

體重率爲 w. 先依第一理論，卽上升液體之重力完全爲曲液面上之張力 T 所擔負，因得　$\pi d\cdot T\cdot\cos\alpha = w\cdot\dfrac{\pi d^2}{4}\cdot h$

$$\therefore\quad h = \frac{4T\cdot\cos\alpha}{wd} \qquad (1\text{-}9)$$

若易毛細管爲距離 d 之二平行板，取其單位寬，得

$$2\cdot T\cdot\cos\alpha = wdh$$

$$\therefore\quad h = \frac{2T\cdot\cos\alpha}{wd} \qquad (1\text{-}10)$$

茲再依第二理論（圖1-6），h 爲自槽中水面量至曲面之最低部分，V 爲 h 以上水之體積．依虛功原理(principle of virtual work)，假定水柱在垂直方向移動 ∂x 之極短距離，再使重力與各張力所作之功恆等，則得　$(T_{12}-T_{13})\pi d\cdot\partial x + w\cdot\partial x\left(\dfrac{\pi d^2 h}{4}+V\right)=0$

$$\therefore\ h = -\frac{4}{wd}(T_{12}-T_{13}) - \frac{4V}{\pi d^2}$$

$$\because\ T_{12}-T_{13} = -T_{23}\cdot\cos\alpha$$

$$\therefore\ h = \frac{4T_{23}\cdot\cos\alpha}{wd} - \frac{4V}{\pi d^2} \qquad (1\text{-}11)$$

普通以 V 之值極小，故可使

$$h = \frac{4T_{23}\cdot\cos\alpha}{wd} \qquad (1\text{-}11a)$$

式中之 T_{23} 與公式(1-9)中之 T 相等，故式(1-11a)與式(1-9)完全相同．

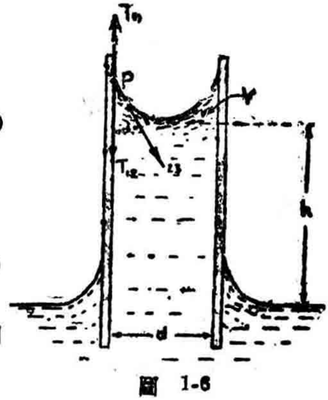

圖 1-6