

大專用書

水 力 學

黃依典 編著



文笙書局印行

水 力 學

黃 依 典

編 著

文笙書局印行

版權所有・翻印必究

水力學

編著者：黃 依 典

發 行：文 笙 書 局

發行人：黃 清 笙

台北市重慶南路 1 段 69 號

電話：3810359

郵政劃撥第 100165 號

行政院新聞局局版台業字第 1263 號

印 刷：中 美 印 刷 有 限 公 司

定 價：新台幣 280 元

中華民國七十二年二月初版

中華民國七十四年三月修訂版

序 言

流體力學乃是工程科學中的重要部門之一，其為研究氣體或液體在靜止或運動狀態中所產生的現象，一般可用質量，能量與動量不減原理以分析流體靜止或運動等諸問題。

水力學是流體力學中的一大部門，顧名思義，它是研究水在靜止及運動狀態中一切現象之闡述。其亦為本書重點之所在。

本書內容主要依照教育部最新頒訂之大專院校課程為大綱而編撰，除適合大專院校土木、水利、建築、農工等有關科系同學研習之用外，並可提供有關工程師參考之用。

為使讀者能容易理解流體力學之基本概念及重要理論以提高學習效果起見，書中對於各種流體的現象僅量用較簡捷之數學方式表達，對於各重要原理與公式亦由淺而深入詳細推導，同時僅量舉示例題以說明書中所述之原理及公式，使讀者學完後容易融會貫通，進而熟悉應用之方法。

本書之任務在使學者了解：

a. 流體力學之基本知識，使學者瞭解流體在靜止時及運動時之各種物理現象及處理問題之方法。

b. 流體之物理特性及其對流體運動之影響。

c. 靜態流體之各種力學特性及應用之方程式，俾對實際問題有所認識，並能予以解答。

d. 動態流體之各種力學特性及應用之方程式，俾對實際遭遇之問題有所認識，並能予以近似之解答。

e. 流體物理性質與流體流動特性之檢定方法，俾對流體性質或流動特性有深切之認識。

f. 維度分析與模型試驗方法，俾對流體模型試驗中原型體與模型體關係之確立。

本書共計十四章，其內容包括(一)流體之物理性質與流體運動，(二)流體靜力學，(三)流體運動學，(四)流體動力學，(五)維度分析，(六)流體運動中的壓力變化，(七)受滯性影響流體運動之分析，(八)管流，(九)明渠流，(十)流體的壓縮性與壓縮流，(十一)流體物理性質與流動特性的檢定，(十二)拉力與提昇力，(十三)流體的衝擊與流體機械，(十四)模型試驗。按此項序編撰之目的在使讀者能由最基本的理論至進一步的實證應用能有全盤性之了解。

本書之編撰及校訂，雖力求嚴謹，然謬誤疏漏之處仍恐難免，尚祈教學先進及讀者惠予指正，是所企盼。

本書承陳昇一先生之支持與鼓勵，劉麗華小姐、詹榮鑑助教與林茂成助教之校對，謹此致謝。

編著者 黃 依 典

謹識

民國七十二年二月於桃園

修訂版序

1. 本書修訂版係依據教育部於民國七十二年所頒佈之最新大專課程標準綱要及最新相關資料修訂而成，務求教材理論化與實務化。
2. 本書於民國七十二年初版問世後，蒙各界惠予支持，尤為感激的是，教學先進及學者們提供了改進意見與鼓勵，使本書得以順利完成修訂作業。本書各章節除修訂與增列習題外，並列出有關習題之解答，使內容更為充實完整。
3. 本書修訂時雖經細心校閱，然疏漏之處恐仍所難免，尚請各界先進讀者吝指正為幸。

編著者 黃 依 典

謹識

民國七十四年三月於桃園

作者簡介

黃 依 典

1. 學歷：國立臺灣大學土木系
國立臺灣大學土木研究所水利組
2. 經歷：私立萬能工業專科學校講師
經濟部水資會試驗組助理研究員
國家高等考試水利工程科及格兼取水利技師
考試院工業技師考試及格土木技師、結構技師
3. 著作：暴雨對中港溪流域污染之探討
不穩定流平壓塔孔口能量損失之探討
4. 現任：私立萬能工業專科學校副教授

TO

My Parents

目 錄

第一章 流體之物理性質與流體運動

第一節	流體力學	1
第二節	物體三態	2
第三節	流體之定義	2
第四節	流體之聯體論	2
第五節	因次與單位	3
第六節	流體之物理性質	5
第七節	完全氣體	20
第八節	流體之分類	22
第九節	因次之一致性	22
習 題	一	24

第二章 流體靜力學

第一節	流體之靜壓強度	26
第二節	巴斯噶定理—靜態流體中一點的壓力強度	26
第三節	流體力學的基本方程式	28
第四節	液體壓力計	34
第五節	平面上的流體壓力	42
第六節	曲面上的流體壓力	51
第七節	浮 力	58
第八節	浮體與潛體之穩定	65
習 題	二	72

第三章 流體運動學

第一節	運動中的流體	82
第二節	位移與速度	85
第三節	加速度	88
第四節	流量	99
第五節	流量、徑線、煙線與流管	102
第六節	一點的連續性	104
第七節	旋轉與渦度	106
第八節	流綫方程式與速度勢能函數	111
第九節	流網分析	116
第十節	分離流	118
第十一節	一維度流、二維度流與三維度流	119
第十二節	流體的分類	119
習題三		123

第四章 流體動力學

第一節	系統及控制體積法	127
第二節	控制體積方程式之推導	129
第三節	連續方程式	131
第四節	能量方程式	139
第五節	動量方程式	166
第六節	動量彎矩之方程式	197
習題四		201

第五章 維度分析

第一節	維度分析在流體力學上的重要性	217
第二節	維度與維度之齊次性	218
第三節	維度分析	221
第四節	維度分析在實驗資料上之應用	231
習題五		234

第六章 流體流動中的壓力變化

第一節	流體流動壓力變化的基本原因	236
第二節	導源加速度的壓力變化之例	238
第三節	伯奴利方程式	248
第四節	伯奴利方程式之應用	250
第五節	分離現象與壓力變化之影響	258
第六節	穴 蝕	260
習題六		262

第七章 受滯性影響流體運動之分析

第一節	導 論	266
第二節	均勻片流之表面阻力	267
第三節	邊界層的定性描述	276
第四節	片流邊界層的定量式關係	277
第五節	紊流邊界層的定量式關係	284
第六節	潤滑力學	303
習題七		308

第八章 管 流

第一節	管流系統通論	312
第二節	管路斷面的剪力分佈	313
第三節	管中之片流	314
第四節	管流中片流與紊流的分界	317
第五節	管中之紊流	320
第六節	管入口處之流動與配件上的損失	334
第七節	管路水理公式	347
第八節	管路系統	351
第九節	配水管網設計分析	367
第十節	非圓形管中之紊流	371
第十一節	管路線性規劃例	373

習題八	376
-----------	-----

第九章 明渠流

第一節 導 論	383
第二節 渠流基本性質	389
第三節 臨界渠流	396
第四節 定量等速流	415
第五節 定量漸變渠流	434
第六節 變量漸變渠流	441
習題九	442

第十章 流體的壓縮性與壓縮流

第一節 壓縮流體之前進波	445
第二節 馬赫數關係	450
第三節 正規震波	456
第四節 通過變化斷面通道的定熱壓縮性流	461
第五節 管流中具摩擦之壓縮性流動	473
習題十	487

第十一章 流體物理性質與流動特性的檢定

第一節 導 論	490
第二節 流體物理性質之檢定	491
第三節 剪應力之測定	498
第四節 流體表面高度與流體內部壓力的測定	499
第五節 流速之測量	505
第六節 流量之測量	512
第七節 壓縮性流之測量	532
習題十一	536

第十二章 拉曳力與升力

第一節 基本原則	539
----------------	-----

第二節	拉曳力之二維度分析	541
第三節	圓柱體產生之渦度流分析	548
第四節	對稱三維度物體之拉曳力	550
第五節	終速度	552
第六節	壓縮性對拉曳力之影響	555
第七節	昇力	556
習題十二		565

第十三章 流體的衝擊與流體機械

第一節	螺旋槳葉理論	568
第二節	抽水機之種類、型式與特性曲綫	575
第三節	軸流式抽水機	578
第四節	輻流式與混流式抽水機	582
第五節	比速	586
第六節	渦輪機	591
習題十三		600

第十四章 模型試驗

第一節	概論	602
第二節	模型相似律之理論	603
第三節	模型之相似律	607
第四節	不等比模型試驗	620
第五節	相似律之應用問題	624
習題十四		626
附錄		628
參考書目		651

第一章 流體之物理性質與流體運動

第一節 流體力學 (FLUID MECHANICS)

探討流體之平衡與運動及物體在流體內產生相對運動時所受之阻力等問題，謂之流體力學。

流體力學在工程之應用很廣，凡造船、航空、機械、土木、化工、水利等工程學科，都與流體力學發生相當關係。造船與航空工程師在船舶與航空器設計，化工工程師在化學工程之管路設計，土木、水利工程師在渠道、涵管之水利設施設計時，沒有一項不是藉助流體力學。

研究流體力學之方法，大多沿習使用力學中的概念、原理與定律；諸如質量流動不滅定律，能量不滅定律（即為熱力學第一定律），動量不滅定律，牛頓運動定律，牛頓黏滯性定律，流體性質的狀態方程式和邊界之限制條件等。一般流體力學依研究方向又可分三大部份：

(一) 流體靜力學 (fluid statics)

研究流體在靜止時的定律與狀態，並分析其作用於物體之力。

(二) 流體運動學 (fluid Kinematics)

探討流體質點之速度、位移及流線等而不論及動量與能量者。

(三) 流體動力學 (fluid dynamics)

主要討論流體所受之力與流體之速度、加速度間之關係。

今日之流體力學乃淵源於科學知識的兩大支柱一經驗的水力學與古典的動水力學。

水力學主要論及於水之運行，他是包含許許多多實際經驗的應用科學。可說是人類活動以來幾世紀之累積經驗。水力學家乃著重於野外觀察和實驗室試驗。其獲得之資料通常導演成經驗公式，供特別的應用情況使用。而其可應用性乃僅限於流動情況，在這些公式導演的資料之限制範圍內。

十九世紀前，理論物理學家與數學家致力於無滯性之理想流體，吾人即稱為古典的動水力學。而古典之動水力學與經驗的水力學合併而成為所謂流體力學。

現代流體力學，乃結合動水力學的基本物理原理和水力學的實驗技術而成。實驗數據僅用來證明學說並補助在基本分析上所遺漏敘述之不足。複雜的流體流動問題正以審查在流體運動上流質特性的效應來研究之。

第二節 物體三態

物質在自然狀態下可分為固體（Solid），液體（liquid）與氣體（gas）三態，而液體與氣體又可合稱為流體（fluid）。因固體物質分子間結構緊密，液體物質間之結構較疏鬆，而氣體物質根本無固定的距離；因此，同一物質之固態狀況下，其分子間的內聚力最大，液態次之，氣態最小。就體積與形狀而言，在固態時，體積與形態不易改變，液態下，體積不易改變，但形狀却易隨容器而改變，氣態時，不論體積或形狀皆易隨容器而變化。

第三節 流體之定義

流體為一種受了剪應力（Shear stress）時，立即發生連續且永久變形之物體。這種連續變形的過程稱為流動。此不同於固體者，即固體不論受拉，受壓或受剪，在某一限度內，其應變與應力呈正比變化。當受力狀態撤除時其變形亦消失而恢復原狀，此種行為稱為彈性作用；前述之限度是為彈性限度。

第四節 流體之聯體論（FLUID AS CONTINUUM）

流體為分子所組成，故其物理性質與各種現象都與分子之運動相關。茲考慮流體之作用動力，可認為流場中流體內各個分子之行為表現；但亦可解釋為該流體內分子之平均效應，此即為流體之聯體論—假設流體之分子為連續物質。就滯性流體而言，此一假定是流體不至與固體界面滑動之根據，我們可由實驗觀測證實之。

流體之比容、密度、壓力、速度與加速度，均假定隨流體作連續變化或保持不變。

第五節 維度與單位

在度量事物以前，我們必須先為要量的各量選取一個單位。為度量起見，各量和各單位可分為基本的和導出的二類。物理學者公認有四項互相獨立的基本量：長度（length）、質量（mass）、時間（time）、電荷（charge）與力（force）。其中僅三種獨立的主要維度足以完全敘述任何流體運動，他們是MLT或FLT，可隨意選擇任一組。譬如就牛頓第二運動定律來說，力(F) = 質量(M) × 加速度(L/T²)，假使質量(M)選為一主要維度，力(F)可由維度ML/T²表之，反之亦可。

工程上所常用之單位可以分為兩種制度：一為英制單位，二為公制單位（又分M.K.S制與C.G.S制二種）茲分述如下：

A、重力系統制（gravitational system）

(1) 英制（呎磅-秒）（foot-pound-second）：以磅力（lbf）、呎（ft）秒分別為力、長度及時間單位，即 $1 \text{ lbf} = 1 \text{ slug} \times 1 \text{ ft} / \text{sec}^2$ 。所謂一斯勒格（slug）質量 = 1 磅重量除以每秒每秒 g 呎，g 之值以每秒 32.2 呎計。1 斯勒格（slug）質量，如以式表之如下：

$$1 \text{ 斯勒格 (slug) 質量} = \frac{1 \text{ 磅 (lbf)}}{1 \text{ 呎/秒}^2} = \frac{\text{磅-秒}^2}{\text{呎}} \quad (1-1)$$

(2) 公制：1 克力（l gf）= 1 gram × g cm/sec²，此處一單位質量 = 1 gf 除以 g 厘米每秒每秒，g 之加速度以每秒每秒 981 厘米計。

1 公斤力（1 kgf）= 1 kg × g m/sec²所謂單位質量即等於 kgf 除以 g 公尺每秒每秒；g 之加速度以每秒每秒 9.81 公尺計之。

B、絕對單位（absolute system）

(1) 呎磅達秒制（foot-poundal-second system）：單位力量作用在一磅質量之物體上，產生每秒每秒 1 呎之加速度，則此力量稱為一磅達（poundal），所以 1 磅達力量 = 1 磅質量 × 每秒每秒 1 呎加速度。

(2) 公制（metric system）：單位力量作用在 1 克質量之物體上，產生每秒每秒 1 厘米（cm）之加速，則此力量稱為一達因（dyne），所以

$$1 \text{ dyne} = 1 \text{ g} \times 1 \text{ cm} / \text{sec}^2$$

單位力量作用在 1 kg 質量之物體上，產生每秒每秒 1 公尺（m）之加速

，則此力量稱爲一牛頓（ Newton ）。即 $1 \text{ Newton} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/sec}^2$

其中力之磅單位乃由地心引力所規定，在標準重力場中， $g_0 = 32.174$ 呎/秒²，一磅質量的物質受到一磅的地心引力，若用牛頓第二運動定律寫出，其式爲

$$F = \frac{m}{g_0} a \quad (1-2)$$

若一物體在標準狀況下，真空中自由落下時

$$1 \text{ lb}_f = 1 \frac{\text{lb}_m}{g_0} 32.174 \frac{\text{ft}}{\text{sec}^2}$$

很清楚的顯示

$$g_0 = 32.174 \frac{\text{lb}_m - \text{ft}}{\text{lb}_f - \text{sec}^2} \quad (1-3)$$

在本課文中，若用磅爲質量單位，則所用之代表符號爲 lb_m ，力的單位用磅則寫成 lb_f ， g_0 之值僅與所採用的單位有關，在非標準重力場中，物體的質量不變，而其重量即受地心引力的大小則不同；

$$W = M (\text{lb}_m) \frac{g}{g_0} \quad (1-4)$$

例如，當 $g = 31.0 \text{ ft/sec}^2$

$$10 \text{ lb}_m \text{ 之物重爲 } 31.0 \times \frac{10}{32.174} = 9.635 \text{ lb}_f$$

斯勒格（slug）爲質量的導出單位，當一物體受 1 lb 的引力時，其加速度若爲 1 ft/sec^2 ，則此物體的質量即爲 1 slug，用此單位時， g_0 等於一個單位，即 $1 \text{ slug} \cdot \text{ft/lb} \cdot \text{sec}^2$ 。因爲流體力學與牛頓第二定律有不可分的關係，故斯勒格可定義爲

$$1 \text{ slug} = 1 \frac{\text{lb}_f \text{ sec}^2}{\text{ft}} \quad (1-5)$$

有關單位系統之變換可參考本書附錄B及附錄C。