

部編大學用書

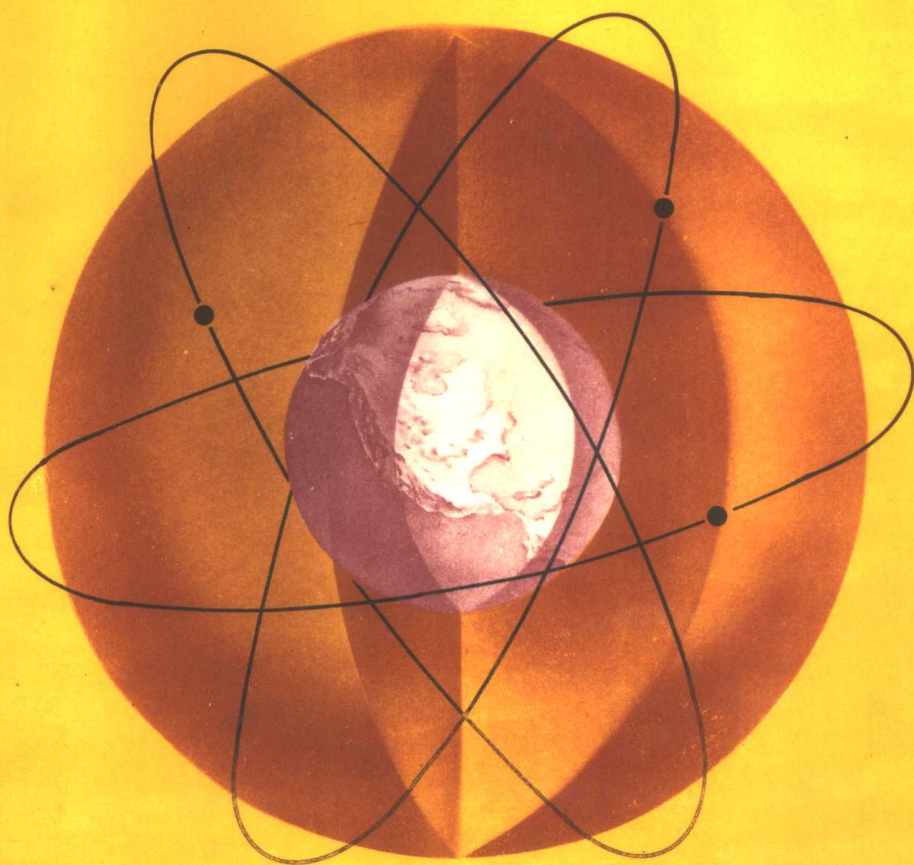
科學新知/技術先導

流體力學

毛壽彭 編著

國立編譯館 主編

五南圖書出版公司 印行



科學新知/技術先導

流體力學

毛 壽 彭 編著

國立台灣大學農工系教授

國立編譯館 主編

五南圖書出版公司 印行

流 體 力 學

中華民國73年 1 月初版

著作者 毛 壽 彭

著作權 國 立 編 譯 館
所有人

發行人 楊 榮 川

發行所 五南圖書出版公司
局 版 臺 業 字 第 0598 號
臺 北 市 銅 山 街 1-1 號
電 話 : 3916542 號

基本定價：7.12 元

郵政劃撥：106895 號
印刷所 明 文 印 刷 廠

(本書如有缺頁或倒裝，本公司負責換新)

自序

中國古代在科技方面最有成就者之一，就是大禹治水成功，大禹治水之要訣，為順水之性，因勢利導。所以，在四千年前大禹時代，所做之水利工程，已合乎現代水理學上之理論。吾國大學土木工程系及水利工程等系，以往均有水力學課程，但自民國五十四年，各大學均增設流體力學一科，作者在大學任教三十餘年以來，先後曾教水力學、流體力學、水工結構、水工模型、及水土保持等課程，並創設水工試驗所。茲本教學及實驗研究之經驗，並參考國內外有關文獻，寫成流體力學一書，該書可作為大學相關各系所教學，及從事實際工程人員參考之用。全書共十二章，計四十餘萬言，內容力求充實，說理務求精簡，解釋不厭詳盡，舉例注重工程上實際應用。每章均可自成一單元，以節省讀者翻閱參考書之時間。

本書對於目前工程上所應用之單位，除英制（English System）及公制（MKS）外，並介紹各國新近推行之國際單位（SI Units）。全書之完成，劉治平博士、魏濟邦博士，暨宋業敏小姐，均曾貢獻智慧，協助良多。梁曉光、陳增壽、譚義蹟、許勝雄等諸位先生，亦均曾參予工作，在此均一併誌謝。

本書因參考之資料範圍較廣，所舉實例亦多，更因倉促出版，錯誤遺漏之處，在所難免，尚祈讀者隨時賜教，以便再版時校正。

毛 壽 彭

七十二年十二月二十五日

識於國立台灣大學

流 體 力 學

目 次

第一章 流體之性質

1-1	流體力學之發展.....	1
1-2	固體及流體之區別.....	2
1-3	氣體及液體之區別.....	2
1-4	密度、比重量.....	3
1-5	壓縮及非壓縮之流體.....	5
1-6	液體之壓縮率.....	5
1-7	液體之比重量.....	7
1-8	氣體狀態方程式.....	9
1-9	氣體壓縮率.....	11
1-10	理想流體.....	13
1-11	粘滯性.....	13
1-12	表面張力.....	19
1-13	液體之汽化壓力.....	21

第二章 流體靜力學

2-1	概 說.....	23
2-2	流體之壓力.....	24
2-3	大氣壓力之變化.....	31
2-4	壓力參考基線.....	34

2-5	壓力之量計	36
2-6	潛水平面上所受之力	43
2-7	潛浸曲面所受之力	52
2-8	浮力	56
2-9	浮體與潛浸物體之穩定性	59
2-10	集團流體之穩定性	63
2-11	管中及容器中之靜壓力	66
2-12	加速度之影響	68

第三章 流體運動學

3-1	運動中之流體與運動現象之表示法	75
3-2	層流與紊流	81
3-3	穩定流與等速流	85
3-4	跡線、流線及條紋線	89
3-5	連續方程式	91
3-6	單向流、雙向流及三向流	93
3-7	一般連續方程式	95
3-8	旋轉流與非旋轉流	98
3-9	環流量與渦度	102
3-10	流線函數	104
3-11	基本流場	107
3-12	流速勢	112
3-13	流線與等勢線之正交性	112
3-14	流網分析	116
3-15	流體運動之加速度	121

第四章 流體動力學

4-1	流體之動能、位能及內能	123
4-2	能量方程式	126
4-3	任何穩定流體之一般能量方程式	128
4-4	非壓縮性流體之能量方程式	132
4-5	壓縮性穩定流體之能量方程式	134
4-6	水頭、功率及穴蝕作用	135
4-7	穩定流沿流線運動之方程式	140
4-8	水力坡線及能力線	143
4-9	流體流動之壓力和柏努利定理之應用	151
4-10	曲線流、強制渦流和自由渦流	166
4-11	流體衝擊原理	176
4-12	流體衝擊原理之應用	178

第五章 壓縮性流體

5-1	概論	195
5-2	應用於壓縮性流體之基本方程式	200
5-3	有摩擦或無摩擦之絕熱流	201
5-4	彈性波	202
5-5	等溫流	208
5-6	均等直徑管之等溫流	208
5-7	等熵流	212
5-8	停滯點壓力	213
5-9	一元壓縮流中面積變化之影響	216

4 流體力學

5-10 壓縮流流經收縮鳥嘴	220
5-11 收縮發散鳥嘴流	223
5-12 一元驚震波	227
5-13 斜震波	230
5-14 均等直徑管路之絕熱流	231
5-15 其他形式之流	235

第六章 層流和紊流

6-1 概 論	237
6-2 奈維·史徒克斯方程式	244
6-3 動能理論與黏滯性	262
6-4 兩平行界壁間之層流	265
6-5 圓管中之定量流	273
6-6 紊流及其方程式	283
6-7 紊流之半經驗理論	291
6-8 圓管之紊流	299
6-9 層流邊界層	309
6-10 附面層流之分離現象	326
6-11 紊流附面層	331

第七章 管 流

7-1 概 論	339
7-2 流之形成	341
7-3 定量流、等速流	343
7-4 線 流	345

7-5	紊流	346
7-6	邊界糙率	348
7-7	管流問題之解決	352
7-8	非圓形斷面之管路	357
7-9	可壓縮之流體	358
7-10	等溫流	359
7-11	絕熱流	363
7-12	定量變速流	365
7-13	彎曲管路	367
7-14	管路擴大	371
7-15	管路之分枝	376
7-16	管路收縮	379
7-17	管路入口	381
7-18	管路出口	382
7-19	管路之裝配	382
7-20	形狀損失之相當長度	383
7-21	複式管路	384
7-22	最經濟之管徑	387
7-23	管路之分流	387
7-24	環狀管路	388
7-25	分岐管路	389
7-26	水管網	390
7-27	不定量等速流	393
7-28	蓄水池放出之流	393
7-29	振動流	397

第八章 明渠水流

8-1	概 說	399
8-2	明渠流之一般型式	401
8-3	等速流之型式	404
8-4	哲塞流量公式	404
8-5	速度分佈	407
8-6	滿寧公式	410
8-7	界面糙率	410
8-8	最佳形狀之斷面	412
8-9	封閉管中部分滿流	415
8-10	天然渠道	417
8-11	簡單波浪及湧浪	417
8-12	水躍現象	421
8-13	流量突減	425
8-14	波浪方程式之比較	425
8-15	間歇湧浪	426
8-16	比重之影響	427
8-17	阻力對波浪及湧浪之影響	428
8-18	明渠漸變段	428
8-19	比能頭圖解	430
8-20	界面收縮	432
8-21	流量圖解	436
8-22	交替深度及連續深度	439
8-23	非矩形斷面	441

8-24	臨界流之性質	443
8-25	變速流	444
8-26	水流表面剖面之分類	447
8-27	迴水曲線之計算	451

第九章 流體所受之力

9-1	概說	455
9-2	非壓縮流界面層之摩擦阻力	457
9-3	非壓縮流體沿一光滑平板之線流界面層	460
9-4	非壓縮流沿一光滑平板之亂流界面層	464
9-5	漸變區域之摩擦阻力	468
9-6	界面層之分離及壓力阻力	472
9-7	非壓縮流三尺度物體之阻力	474
9-8	非壓縮流二尺度物體之阻力	480
9-9	昇力及環流	483
9-10	理想流體流經一圓柱	485
9-11	機翼之升力	489
9-12	定長翼面之誘導阻力	491
9-13	昇力和阻力圖解	494
9-14	壓縮率對於阻力及升力之影響	498
9-15	結論備註	500

第十章 流體之量度

10-1	概說	503
------	----	-----

10-2	流體性質	505
10-3	流體特性	511

第十一章 不定量流問題

11-1	概 說	549
11-2	變水頭之流量	550
11-3	管流中非壓縮流體之不定量流	553
11-4	定量流之建立	558
11-5	管路中壓力波之速度	560
11-6	水錘	561
11-7	平壓室	569

第十二章 相似律及尺度分析

12-1	引 言	573
12-2	模型相似律原理	575
12-3	福祿氏定律	579
12-4	福祿數	581
12-5	雷諾氏定律	582
12-6	雷諾數	583
12-7	魏伯氏定律	584
12-8	馬赫定律或稱柯齊定律	585
12-9	尤拉數	586
12-10	不等比模型	588
12-11	模型試驗註釋	589
12-12	尺度分析	593

附錄一 國際 (SI) 單位	607
附錄二 運算應用之圖表	610
附錄三 壓力波之速度	627
參考文獻	630

第 1 章

流體之性質

PROPERTIES OF FLUIDS

1-1 流體力學之發展

流體力學為研究液體及氣體之力學，並以固體力學所應用之同樣基本原理為依據。因固體可以分開，且為有實體可感覺之分子（Elements），而流體分子不能分開，因之流體力學所研究之問題比較難以處理。

流體力學可分為三部門：流體靜力學（Fluid statics）為研究流體靜止之力學；運動學（Kinematics）為研究流體之流速及流線，但不涉及力量及能量；及流體動力學（Hydrodynamics）所討論者為運動之流體，所受到流速或所產生流速和加速度及力量之關係。

古典流體動力學（Hydrodynamics）多為數學上之研究，因其所研究之範圍為一完全無摩擦之理想流體，故研究結果不考慮真正流體之性質，因而實用價值受到限制。所以以往工程師乃轉向實驗中探求，由此發展許多經驗公式，對實際問題提供答案，此或稱為水理學（Hydraulics）。經驗水理學之範疇大部分包括水之問題，且亦受到相

2 流體力學

當限制。由於航空學（Aeronautics），化學工程及石油工業之發展，需要之領域亦較廣泛。因之引導古典流體動力學（Classical hydrodynamics）與實際流體之研究配合，而此新科學稱之為流體力學。近代流體力學為合併古典流體動力學之基本原理，與水理學之實驗技術，實驗資料數據可用以證明學說，或提供補足數學分析之資料。總之，流體力學之基本原理，可以應用於解決工程上流體流動之問題。

1-2 固體及流體之區別

固體之分子較液體靠緊一起，固體分子間之吸引力很大，藉以維持其原來形狀，但流體則不然，其分子間之吸引力很小。有些塑性固體，在某種環境可以流動，且金屬在高溫之下亦可流動。另一方面有些粘滯性很大之液體並不易流動，很容易與塑性固體混淆。固體與流體之主要區別，任何流體不論其粘性如何，如受到輕微之力立即變形屈服，但固體則不論其塑性如何，必須受到某種大小之力才可使其流動。

固體之形狀當加以外力變形時，則其相鄰質粒間之切線應力將立刻趨向恢復物體之原來形狀。但在流體內，此等切線應力依據形變（Deformation）之速度而變，且當速度漸近於零時，應力亦消滅。當運動停止，切線應力即消失，則此流體亦趨向恢復其原來形狀。

1-3 氣體及液體之區別

流體可為液體或氣體，氣體分子之間隔遠較液體間為大。所以氣體可以壓縮，並且當一切外部壓力除去後，立刻恢復無限擴張。所以氣體只有在完全封閉時才能平衡。但液體為相對不可壓縮，如果除去其自己之汽化壓力，且其他一切壓力均除去之後，則分子間之內聚力

，將保持彼等在一起。所以液體不能無限制擴張。因之，液體有自由表面，亦即一切壓力除去後之表面，該液體本身之汽化壓力除外。

蒸汽 (Vapor) 為溫度及壓力均很接近液體狀之氣體，水蒸氣 (Steam) 之狀態很接近於水，故被認為是蒸汽，氣體 (Gas) 亦可定義為一種超熱之蒸汽，此由於其狀態遠離液體狀態，因為空氣為一種氣體，所以空氣之狀態正常是遠離液體空氣。

氣體或蒸汽之體積由於溫度或壓力或二者均改變，而受到之影響很大。所以平常研究氣體或蒸汽時，必須計入體積及溫度之改變，當處理蒸汽及氣體時，隨時對於重要溫度或相 (Phase) 之變化均應包括在內。此主題大部依靠熱力之現象 (熱力學)，所以液體力學與熱力學是互相關連者。

1-4 密度 (Density) · 比重量 (Specific Weight)

容度 (Specific Volume) 及比重 (Specific gravity)

密度 ρ 為流體單位體積內之質量，而比重量 γ 為單位體積內之重量，在英制或重力制內，密度 ρ 之單位為 $\text{Slugs} / \text{ft}^3$ (在 SI 單位 kg / m^3) 亦可表示為 $\text{lb} \cdot \text{S}^2 / \text{ft}^4$ ($\text{N} \cdot \text{S}^2 / \text{m}^4$, SI 單位)。

比重量 γ 為重力於單位體積流體所生之力量，所以其單位為單位體積之力量，例如每一立方呎若干磅 (N / m^3 , SI 單位) 流體之密度及比重量關係以式表之如次：

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad \text{或} \quad \gamma = \rho g \quad (1.1)$$

因為合理化方程 (Physical equations) 之元次一致，所以密度之元次 (Dimensions)：

$$\rho \text{ 之元次} = \frac{\gamma \text{ 之元次}}{g \text{ 之元次}} = \frac{\text{lb} / \text{ft}^3}{\text{ft} / \text{s}^2} = \frac{\text{lb} \cdot \text{s}^2}{\text{ft}^4} = \frac{\text{質量}}{\text{體積}} = \frac{\text{slugs}}{\text{ft}^3}$$