

最新版

科目綱要有效整理 → 建立信心
最新命題趨向追蹤 → 了解趨向
各章題型精關解析 → 認清題型
模擬試題完整測驗 → 加強戰技



流體力學

◎ 高等考試 ◎ 特種考試 ◎ 檢定考試 ◎ 研究所考試
◎ 公費留學 ◎ 二專考試 ◎ 二技考試 ◎ 大學插班考

必備

鄭

柯漢光 · 徐裕傑 · 王正綱

智

中 主編

協編

流體力學 突 破

鄭智中 編著

圓山圖書有限公司經銷

流體力學 突 破

版權所有



翻印必究

定價：新台幣280元整

編著者：鄭 智 中

總編輯：洪 仁 正

發行人：楊 俊 智

發行所：大同圖書有限公司

總經銷：圓山圖書有限公司

行政院新聞局局版台業字第1180號

地 址：台北市中山北路二段23-6號

電 話：(02)5982766・5982928

帳 號：0 1 0 6 6 3 0 — 9

印刷所：佳音印刷打字有限公司

中華民國七十五年三月初版

編輯部的話

※編輯突破叢書之目的

通過考試而榮登金榜乃是莘莘學子努力的目標。本部旨在為幫助所有欲想榮登金榜之讀者於考前以整體而連貫性的方式將各科目題型加以綜合複習，而且亦使讀者能洞悉最新的命題趨勢與解題關鍵處的有效突破而出版本系列突破叢書。只要讀者擁有它們便可應付各項考試之挑戰。

※研習突破叢書的秘訣

榮登高考、特考、留學考、檢定考、研究所、二制技術學院、大學轉學或插班以及校內考試等金榜＝熟記綱要×理清觀念×辨識題型×熟練演算×完整解題×分秒必爭。

※研習突破叢書的方式

- 科目綱要總整理（建立信心）
- ⇒科目題型總解析（認清題型）
- ⇒歷屆考題總追蹤（了解趨向）
- ⇒模擬試題總測驗（加強戰技）

※突破系列叢書簡介

- | | |
|----------|----------|
| ① 電路學突破 | ⑥ 靜力學突破 |
| ② 電子學突破 | ⑦ 動力學突破 |
| ③ 自動控制突破 | ⑧ 熱力學突破 |
| ④ 輸配電突破 | ⑨ 流體力學突破 |
| ⑤ 線性系統突破 | ⑩ 材料力學突破 |

2 流體力學突破

⑪ 工程數學突破

⑫ 微積分突破

※本書編輯參考書目簡介

- ① FLUID DYNAMICS (Richard H.F. Pao) 淡江 · 第一版
- ② FLUID MECHANICS (Richard H.F. Pao) 淡江 · 第一版
- ③ INTRODUCTION TO FLUID MECHANICS (Fox & Mcdonald) 東南 · 第二版
- ④ FLUID MECHANICS (F.M.White) 1979 東南 · 第一版
- ⑤ MECHANICS OF FLUIDS (I.H.Shames) 1982 中央 · 第二版
- ⑥ FLUID MECHANICS (V.L.Streeter) 1979 中央 · 第七版
- ⑦ FOUNDATIONS OF FLUID MECHANICS (S.W.Yuan) 淡江 · 第一版
- ⑧ INTRODUCTION TO FLUID MECHANICS (W.S.Janna) 1983 淡江 · 第一版
- ⑨ THEORY AND PROBLEMS OF FLUID MECHANICS AND HYDRAULICS (R.V.Giles)
- ⑩ BOUNDARY LAYER THEORY (Hermann Schlichting) 1979 歐亞 · 第一版
- ⑪ FUNDAMENTAL MECHANICS OF FLUIDS (I.G. Currie) 1974 美亞 · 第一版
- ⑫ GAS DYNAMICS (James E.A.John) 美亞 · 第二版

序 言

流體力學對機械、航空、土木、造船、水利、環工、化工等科系的同學而言是非常重要的一門科目。無論是進修或應付考試都有熟讀的必要。

本書共分十章，每章由內容綱要、精選例題、題型解析精選等單元構成。內容綱要係將每章的重要內容以重點式的敘述、證明濃縮而成，俾節省讀者複習的時間。精選例題係擷取各教本重要例題、習題加以詳解，較重要的例題並附有練習題。而題型解析精選則由歷屆高普考試題及各大專院校期中期末考題中擇其精要而解之，以供讀者觀摩。書中另有模擬試題七回（附詳解）供讀者練習。本書收集的題目涵蓋範圍甚廣，公制及英制的題目皆有，以使讀者能適應不同性質的考試。讀者若能勤加演練必能有所裨益。此外附錄中亦收集有最近幾年高普考及研究所入學試題若干份，有志參加高普、特考、就業考及研究所入試者皆可參考之。在學的同學亦可研習本書以應付學校考試。

本書承多位朋友提供寶貴資料才得以編成，在此致由衷的謝意。又本書疏漏之處在所難免，尚祈諸先進隨時賜予指正。

最後希望本書讀者，學業順利，考場得意。

編者 鄭智中 謹識

中華民國七十四年九月于台北

流體力學

突破

目錄

編輯部的話

序 言

第一章 流體之物理性質及流體運動..... 1

一、綱 要 1

1-1 流體之定義 1

1-2 系統與控制體積 1

1-3 單位換算 2

1-4 流體之物理性質 3

1-5 黏滯性 6

1-6 容積彈性模數 8

1-7 蒸氣壓 9

1-8 旋渦真空 9

1-9 表面張力 9

1-10 精選例題 10

二、題型解析 18

第二章 流體靜力學 23

一、綱 要 23

2-1 巴斯噶定律 23

6 流體力學突破

2-2 靜止流體中壓力因高度不同之變化	24
2-3 流體壓力之量測	26
2-4 作用於斜面上之流體靜壓力	27
2-5 作用於曲面之靜壓力	30
2-6 浮力原理	31
2-7 沈體與浮體穩定性之分析	33
2-8 等線加速度	36
2-9 繞垂直軸的等速旋軸	38
2-10 精選例題	40

二、題型解析	61
--------------	----

第三章 流體運動學..... 75

一、綱 要	75
3-1 描述流體運動之方法	75
3-2 平移、旋轉與變形率	79
3-3 流線、徑線與煙線	81
3-4 渦旋性	82
3-5 流體中某一點的應力	85
3-6 連續方程式	87
3-7 無旋性流動	91
3-8 速度勢	92
3-9 二維不可壓縮流之流線函數	93
3-10 精選例題	95

二、題型解析	110
--------------	-----

第四章 流體運動之基本定律..... 117

一、綱 要	117
4-1 系統的基本定律	117

4-2	雷諾轉換定理	118
4-3	質量守恒	121
4-4	線動量守恒	122
4-5	柏努利方程式	123
4-6	水力機械之功率	124
4-7	角動量守恒	126
4-8	能量方程式	127
4-9	精選例題	128
二、題型解析		156
第五章 維度分析與模型相似		165
一、綱 要		165
5-1	維度分析	165
5-2	流體力學常用物理量之因次表	167
5-3	常用無因次物理量群參數	168
5-4	模型相似性	169
5-5	精選例題	173
二、題型解析		184
第六章 理想流體之流動		189
一、綱 要		189
6-1	無摩擦流之動量方程式——尤拉方程式	189
6-2	無旋性流動的柏努利方程式	191
6-3	二維無旋性流的流線函數與速度勢間之關係	192
6-4	二維勢流	192
6-5	三維軸對稱勢流	202
6-6	精選例題	207
二、題型解析		235

第七章 黏滯性流體之流動..... 245

一、綱 要	245
7-1 黏滯性流體的運動方程式	245
7-2 流經邊界平行的直管道的不可壓縮流體的層流	250
7-3 圓管中不可壓縮流體的層流	255
7-4 固體球周圍的蠕動流	257
7-5 由無因次運動方程式所導出的動力相似	260
7-6 紊流的定義	261
7-7 不可壓縮黏滯性流體的紊流時間平均值的連續性方程式及運動方程式	262
7-8 紊流的半經驗理論	265
7-9 圓形直管中紊流的磨阻損失	268
7-10 管道中紊流的經驗公式	270
7-11 邊界層流動	274
7-12 邊界層厚度	274
7-13 二維層流邊界層流動的簡化微分方程式	275
7-14 柯曼積分動量方程式	277
7-15 層流邊界層	279
7-16 紊流邊界層	281
7-17 邊界層流內之壓力梯度	282
7-18 經過沈體之流動	283
7-19 精選例題	288
二、題型解析	319

第八章 可壓縮流體之流動..... 333

一、綱 要	333
8-1 可壓縮流所應考慮之熱力學條件	333

8-2	聲波的傳播速率	334
8-3	馬赫數及馬赫錐形體	335
8-4	一維可壓縮流的基本方程式	338
8-5	完全氣體的一維可逆絕熱流動	340
8-6	參考狀態	341
8-7	一維次音速與超音速流動間的相異點	343
8-8	噴嘴中的可壓縮流動	344
8-9	范諾線與雷利線	347
8-10	一維正震波	349
8-11	精選例題	352
二、題型解析		371
第九章	渦輪機械	377
一、綱 要		377
9-1	同調單位及比速	377
9-2	渦輪機械理論	379
9-3	衝擊式渦輪	382
9-4	抽水機與鼓風機	384
9-5	孔蝕(旋渦真空)	385
9-6	螺旋槳之推動力	385
9-7	精選例題	386
第十章	明渠中之流動	401
一、綱 要		401
10-1	精選例題	406
考題集錦		417
模擬測驗		447

流體之物理性質 及流體運動

一、綱 要

§ 1-1 流體之定義

流體 (fluid) —— 乃是無論多小的剪應力 (即切線方向之應力) 作用於其上均會產生連續變形的物質。

討論：當剪應力作用於固體上，固體雖亦發生變形，但並不產生連續變形。而與固體邊界直接接觸的流體擁有與該邊界同等速度，即流體與邊界間並無滑移 (slip)。

§ 1-2 系統與控制體積

系統 (system) —— 就是具有一定質量而由始終相同的物質所組成的量，相當於熱力學中的封閉系統 (closed system)。在系統外的一切稱為外界 (surroundings)。而系統邊界 (system boundaries) 乃隔開系統與其外界，它可以是固定的，也可以是可移動的，但絕對沒有質量穿越它。

討論：一個系統它的形狀、位置和熱力學性質均可能改變，但它

2 流體力學突破

所包含的物質一定不變。

控制體積 (control volume) —— 乃是指空間中流體所通過的一個固定體積。此控制體積所包含流體的量，可能隨時間改變，但其形狀和大小恒維持不變。控制體積的邊界稱為控制面 (control surface)。

§ 1-3 單位換算

在演算時最容易患的錯誤就是公制 (SI制) 與英制的換算，現將公制單位及一些常用的換算因子列如下表：

表 1.1：公制單位

國 際 單 位	數 量	單 位	符 號	算 式
國際基本單位	長 度	米	m	——
	質 量	千克	kg	——
	時 間	秒	sec	——
	溫 度	凱氏溫度	K	——
國際輔助單位	平面角	弧度	rad	——
國際導出單位	能 量	焦耳	J	N·m
	力 量	牛頓	N	kg·m/sec ²
	功 率	瓦特	W	J/sec
	壓 力	巴斯卡	Pa	N/m ²
	功	焦耳	J	N·m

表 1.2：換算因子

長度	1 公分 (cm) = 0.3937 吋 (in) 1 吋 (in) = 0.0254 米 (m) 1 呎 (ft) = 30.48 公分 (cm)
質質	1 磅 (lbm) = 0.45359237 公斤 (kg) 1 slug = 32.174 lbm
重力加速度	$g = 9.8066 \text{ 米/秒}^2 = 32.174 \text{ 呎/秒}^2$

力量	$1 \text{ 牛頓 (N)} = 10^5 \text{ 達因 (dynes)}$ $1 \text{ 磅力 (lbf)} = 4.44822 \text{ 牛頓 (N)}$ $1 \text{ 公斤力 (kgf)} = 9.806 \text{ 牛頓 (N)}$
壓力	$1 \text{ 巴 (bar)} = 10^5 \text{ 貝壓 (Pa)}$ $1 \text{ 大氣壓 (atm)} = 760 \text{ mmHg at } 32^\circ\text{F}$ $\quad = 14.696 \text{ lbf/in}^2$ $\quad = 1.01322 \times 10^5 \text{ Pa}$ $1 \text{ inHg} = 0.491 \text{ lbf/in}^2$
體積	$1 \text{ 立方呎 (ft}^3\text{)} = 7.48 \text{ 加侖 (gal)}$ $1 \text{ 加侖 (gal)} = 231 \text{ 吋}^3 \text{ (in}^3\text{)}$ $1 \text{ 升 (liter)} = 1000 \text{ 公分}^3 \text{ (cm}^3\text{)}$ $\quad = 0.2642 \text{ 加侖 (gal)}$
能量	$1 \text{ 英熱單位 (Btu)} = 778.16 \text{ 呎 - 磅 (ft-lbf)}$ $\quad = 1055.06 \text{ 焦耳 (J)}$ $1 \text{ 仟卡 (kcal)} = 3.968 \text{ 英熱單位 (Btu)}$ $1 \text{ 卡 (cal)} = 4.1855 \text{ 焦耳 (J)}$
功率	$1 \text{ 瓦特 (W)} = 1 \text{ 焦耳 / 秒 (J/sec)}$ $\quad = 860.42 \text{ 卡 / 時 (cal/hr)}$ $\quad = 3413 \text{ 英熱單位 / 時 (Btu/hr)}$ $1 \text{ 馬力 (hp)} = 550 \text{ 呎 - 磅 / 秒 (ft-lbf/sec)}$ $\quad = 746 \text{ 瓦特 (W)} = 2545 \text{ Btu/hr}$

§ 1-4 流體之物理性質

1. 壓力 (pressure)

被定義為單位面積所受的垂直力。

壓力量度的方法有兩種，一為以真空狀態之絕對零壓力為量度之基準，所量取之壓力稱為絕對壓力 (absolute pressure)；另一為以某地某時之大氣壓力為量度之基準，所量得之壓力稱為錶壓力 (gage pressure)，如下圖所示：

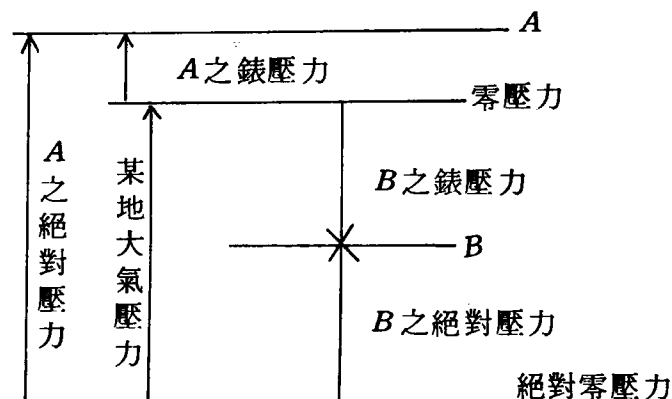


圖 1-1

若絕對壓力以 psia 表之，錶壓力以 psig 表之， p_a 為某地之大氣壓力，單位用 psi，則

$$psia = psig + p_a \cdots \cdots (1-1)$$

壓力之因次為 M/LT^2 或 F/L^2 ，單位以 lbf/in^2 ， N/m^2 較常用。

2 溫度 (temperature)

兩物體在熱平衡時所顯示之同值性質稱之為溫度。溫度改變時，將使其他性質亦隨之改變，此乃提供溫度測量之基本方法。如水銀因溫度增高而膨脹，等空氣體因溫度增高而壓力增大均為此例。溫度之測量基準有華氏 (Fahrenheit)、攝氏 (Centigrade)、郎肯氏 (Rankine)、凱氏 (Kelvin) 等四種。在一大氣壓下，純水之冰點可定為攝氏零度或華氏 32 度；沸點為攝氏 100 度或華氏 212 度。而所有分子停止活動之溫度可定為郎肯氏零度 (華氏零下 459.69 度) 或凱氏零度 (攝氏零下 273.16 度)。其換算關係如下：

$$\left. \begin{aligned} T^{\circ}F &= 1.8 T^{\circ}C + 32 \\ T^{\circ}R &= 459.69 + T^{\circ}F \\ T^{\circ}K &= 273.16 + T^{\circ}C \\ T^{\circ}R &= 1.8 T^{\circ}K \end{aligned} \right\} \cdots \cdots (1-2)$$

3. 密度 (density)

單位體積中所含流體的質量稱為密度。設流體中某點之密度為 ρ ， ΔV 為包圍此點之微小體積， Δm 為此微小體積中所含流體的質量，則此微小體積之平均密度為 $\Delta m / \Delta V$ ，又當 ΔV 趨近於零時， ρ 所表之值即為此點之密度，可寫成：

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV} \dots\dots\dots (1-3)$$

討論：① 若流體為均勻分佈 (homogeneous)，則流體內各點之密度為一常數。

② 若流體為非均勻分佈 (nonhomogeneous)，則密度將隨位置而異，即 $\rho = \rho (x, y, z)$

③ 可壓縮性流體 (compressible fluid) 之密度隨流體運動時之位置、時間、溫度及所受之壓力而改變，即

$$\rho = \rho (x, y, z, t, T, P)。$$

④ 不可壓縮性流體 (incompressible fluid) 之密度不隨時間、壓力而變，但亦隨著溫度而變，故可寫成 $\rho = \rho (T)$ 。

密度之因次為 M/L^3 或 $F(T/L^2)^2$ ，常用單位為 lbm/ft^3 ， $slug/ft^3$ ， kg/m^3 。

4. 比容 (specific volume)

單位質量之流體所佔有之體積稱為比容。即

$$v = \lim_{\Delta m \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta m} = \frac{1}{\lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V}} = \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots (1-4)$$

討論：若密度為位置、時間、溫度、壓力等變數之函數，則比容亦為各變數之函數。但無論如何 ρv 之乘積恒為 1。

5. 比重 (specific weight)

6 流體力學突破

單位體積中所含之重量稱為比重。

設 γ 為流體之比重，則由重量之定義 $W=mg$ 可知：

$$\gamma = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta V} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} g = \rho g \cdots \cdots (1-5)$$

比重之因次為 M/L^3 或 F/L^3 ，常用之單位有 lbf/ft^3 或 N/m^3 。

6. 相對比重 (specific gravity)

某物體之比重（或密度）與標準狀態下純水之比重（或密度）的比值。設 S 為相對比重，則

$$S = \frac{\text{某流體之比重（密度）}}{\text{標準狀態下純水之比重（密度）}} \cdots \cdots (1-6)$$

相對比重為無因次之物理量，可寫成 $M^\circ L^\circ T^\circ$ 或 $F^\circ L^\circ T^\circ$ 。

§ 1-5 黏滯性 (Viscosity)

流體分子層間進行相對之滑動時，存在於分子層間以阻止滑動之引力稱為黏滯力。而以某物理量表示各種流體黏滯性之強弱則稱之為黏性係數。

傳統之黏性係數依牛頓黏滯性定律可定義為流體所受之剪力與其所發生之切應變率之比。

1. 牛頓黏滯性定律 (Newton's law of viscosity)

如圖 1-2，在沒有重力和壓力梯度的情況下， U/b 的比值和 F/A 的比值成正比。 $\Rightarrow \frac{F}{A} = \mu \frac{U}{b}$

而 $F/A = \tau_{xy}$ 是此流場中任一點的剪應力

$U/b = du/dy$ 表此線性速度分布曲線的斜率

由此可得關係式如下：

$$\tau_{xy} = \mu \frac{du}{dy} \cdots \cdots (1-7)$$