

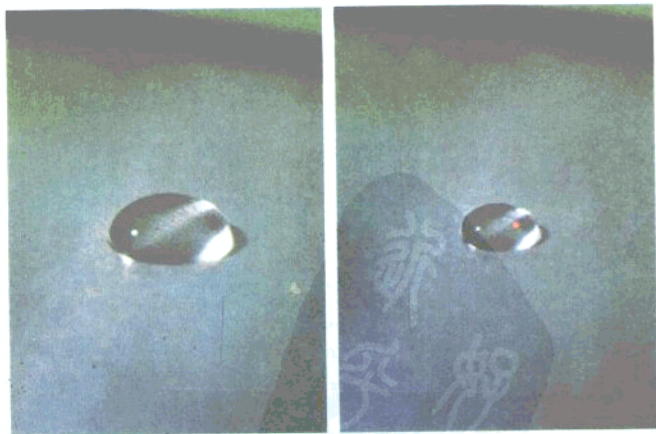
實用流體力學

Applied Fluid Mechanics

Second Edition

原著者：RL. Mott

譯述者：葉偉成



科技圖書股份有限公司



撰寫本書目標在於說明流體力學的基本原理與這些原理在實際問題的應用。強調的主題計有流體靜力、管路中的流體流動、明渠流、流體量測及流體流動時所產生的力。

書中包含的應用範圍，計有機械工程的流體動力、化學工程的程序系統流動，土木工程의流體儲存，管路分配與明渠水流等。本書提供工程中所需具備處理流體力學原理的能力。

對閱讀本書者，希望已讀過線性代數、三角學與物理學。在研讀本書後，將擁有足夠的基礎從事更進一步的研究。至於其它的應用課程，如流體動力等，可順着本書課程再作深入研究。此外，讀完本書後亦可研讀更進一步的可壓縮流體力學的主題。

本書內容，足使學生對流體力學原理具有三種處理能力：

- (1) 對觀念的了解。
- (2) 用邏輯方式解決問題。
- (3) 具解決問題所要討論的能力。

用讀者早已熟悉的物理觀念，簡明的文字表達，並對每一觀念，用數學方式來描述，使讀者能直覺的了解其意義。

2 實用流體力學

對許多複雜問題，採用逐步而緊湊過程說明。凡在問題中已知以及所要求的解決步驟彼此間相關的了解，均加強調。

在流體力學實際問題中常需相當冗長的求解過程，依我的經驗，認為學生在解決這類問題時，常會遭到困難。因此，對個別問題都作完整的討論，並在討論中包含單位的運算。

謝詞從略。

RL. Mott 摩特



原 序

第一章 導論、單位與計算

1.1 為何研究流體力學.....	1
1.2 何謂流體力學.....	2
1.3 SI 制單位	3
1.4 方程式中單位的一致性.....	4
1.5 習 題	9

第二章 基本流體性質與名詞

2.1 導 論	11
2.2 基本流體性質	11
2.3 習 題	14
2.4 名 詞	15

第三章 流體壓力與量測

3.1 流體壓力	20
3.2 絕對壓力與錶壓力	22
3.3 壓力與高度的關係	25
3.4 壓力計、氣壓計與壓力規	28
3.5 習題	36

第四章 加在水中平面上的作用力

4.1 一般觀念	43
4.2 壓力下的氣體	44
4.3 在液體下水平表面	45
4.4 矩形牆	46
4.5 設在水內的平面面積	49
4.6 習題	57

第五章 浮力與穩定性

5.1 浮力	62
5.2 物體在液體中的穩定性	72
5.3 物體完全沒水的穩定性	72
5.4 浮體的穩定性	74
5.5 習題	79

第六章 流體的流動

6.1 導論	82
6.2 流體流率	83
6.3 連續方程式	84
6.4 能量守恒	87

6.5	Bernoulli 方程式的詮釋	90
6.6	Bernoulli 方程式的限制	90
6.7	Bernoulli 方程式的應用	91
6.8	商業用管	100
6.9	管流速建議	101
6.10	典型的體積流率	102
6.11	習 題	104

第七章 一般能量方程式

7.1	能量損失與加入	114
7.2	能量損失與加入用術語	117
7.3	一般能量方程式	118
7.4	泵所需的馬力	122
7.5	傳到流體馬達的馬力	126
7.6	習 題	129

第八章 黏滯性、層流、紊流

8.1	動力黏滯	138
8.2	運動黏滯性	140
8.3	Newton 流體	140
8.4	黏滯度的測定	141
8.5	由溫度引起的黏滯度變化	144
8.6	SAE 數	147
8.7	層流、紊流與 Reynolds 數	147
8.8	速度剖面	149
8.9	習 題	152

第九章 由摩擦形成的能量損失

9.1	Darcy 方程式	154
9.2	在層流中的摩擦損失	155
9.3	紊流中的摩擦損失	157
9.4	摩擦因數方程式	163
9.5	參考資料	165
9.6	習 題	165

第十章 輕損失

10.1	輕損失來源	170
10.2	損失係數	170
10.3	驟然放大	171
10.4	出口損失	174
10.5	逐漸擴大	175
10.6	驟然縮小	178
10.7	進口損失	180
10.8	等效長度法	181
10.9	摘要・輕損失	187
10.10	參考資料	188
10.11	習 題	188

第十一章 串聯管系

11.1	系統分類	191
11.2	類型 I 系統	193
11.3	類型 II 系統	197
11.4	類型 III 系統	207
11.5	習 題	214

第十二章 並聯管系

12.1	串聯與並聯系統的差別	222
12.2	具兩分支系統	224
12.3	三個或更多分支系統	230
12.4	習 題	238

第十三章 非圓型截面與明渠流

13.1	導 論	243
13.2	水力半徑	243
13.3	密閉非圓型截面	245
13.4	明渠流的分類	248
13.5	在明渠中的均一穩定流	248
13.6	臨界流與比能	254
13.7	水 躍	256
13.8	參考資料	259
13.9	習 題	259

第十四章 流的量測

14.1	流量測定的必要性	264
14.2	可變頭測計	266
14.3	可變面積量計	271
14.4	渦輪型流量計	271
14.5	磁性流量計	272
14.6	速度探針	272
14.7	明渠流量測	277
14.8	參考資料	280
14.9	習 題	280

第十五章 泵的選擇

15.1	選擇泵所考慮諸因素	282
15.2	泵之型式	283
15.3	性能數據	285
15.4	淨正吸升頭	292
15.5	吸入管的討論	295
15.6	排出管的討論	296
15.7	參考資料	297
15.8	習題	297

第十六章 流體流動所產生的力

16.1	力方程式	299
16.2	作用在管路彎處的力	301
16.3	固定物上的力	305
16.4	移動物體上的作用力	311
16.5	噴射推進	313
16.6	火箭推進	313
16.7	習題	313

第十七章 沒水物體上的作用力

17.1	阻力與浮力	318
17.2	阻力係數	319
17.3	摩擦阻力	320
17.4	壓力阻力	324
17.5	可壓縮性效應與空蝕	329
17.6	機翼剖面的升力與阻力	329
17.7	空氣的性質	333
17.8	參考資料	333
17.9	習題	335

附 錄

A	水的性質.....	338
B	一般流體性質.....	339
C	石油、潤滑油性質.....	340
D	鋼管因次表.....	341
E	鋼管因次.....	344
F	鋼 管.....	346
G	圓面積.....	348
H	轉換因數表.....	349
I	面積性質.....	352
J	物體性質.....	354

第一章

導論、單位 與計算

1.1 為何研究流體力學

當你打開水喉時，水由泵、閥與管路所組成的配置系統傳送。水的來源，可能由蓄水塔、水庫、河流，湖澤或深井。水從來源到水喉，是依據流體力學原理而得。為選擇適當的泵、管路與設計蓄水塔以及選定流體控制閥等，對此項系統的行為，必需先了解這些原理。

受流體動力系統所控制的自動機器的操作，與油的流動，以及在發動器上的壓力有關。其典型系統如圖 1.1 所示。如汽缸內的油壓愈大，則所產生的力也就愈大。油進入汽缸的流率愈大，則其移動也愈快。在本書中，可學到如何分析此一系統。

在渠內流動的浮標，似乎是一個很簡單的設計。事實上確是如此。但浮體的材料與幾何形狀，必需依據本書第五章所論的浮體法則與浮體的穩定性來決定。

在汽車中，燃料油是藉着泵將油從槽中傳送到汽化器。機器究需多少馬力來驅動這泵？本書第七章將討論如何計算此類問題。

高速公路上的標誌牌，必需能忍受高速風力的打擊，為要決定打

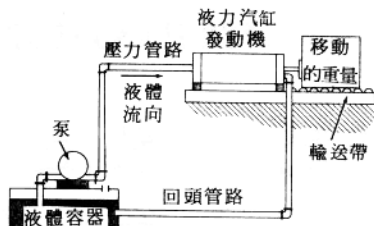


圖 1.1

在標誌牌上的風力，第十六章的衡量 - 動量必需了解。

有許多實際問題，必需先明瞭流體力學原理才能解決。本書是幫助解決這類問題的。在每章中選了許多取自不同的工程上問題。如何解決這些問題，將可測出你對本書了解的程度。

1.2 何謂流體力學

流體力學 (Fluid mechanics)，是研究靜止或流動流體的行為。流體，可為氣體或液體；或許你早已熟悉氣體與液體在物理上的差異，但在研究流體力學時，是用可壓縮性來分類流體的。如此分類將很方便：

氣體是很易壓縮的

液體僅能作些微的壓縮

在許多實際應用上，依這樣的定義來分類就已足夠。在解決問題方法中，常需視流體是否為可壓縮而定。

在本書中，除特殊說明外，液體皆指不可壓縮的。意指不論施加壓力多大，液體的密度必為常數。除非在特殊情況下壓力非常大，否則在計算時，將不會產生明顯的誤差。

氣體，因很易壓縮，由壓力所造成的密度改變必需加以考慮，無形中增加分析問題的複雜性。當明顯的壓力改變時，必需藉着熱力學原理來處理，才得正確結果。在本書某些章節中，對流體的可壓縮性

將作細心處理。但在某些章節中，則考慮氣體為不可壓縮的而得快速而粗略的解答。答案雖非精確，但此粗略解答是可行的。譬如，當空氣流動的速度為 100 m/s 或更小時，假設其為非可壓縮性的，所產生的誤差却是很小。

1.3 SI制單位

在任何工程工作中所用的物理量單位，必需加上說明。單位中的基本量為長度、時間、力與質量。其它的單位皆從這些基本單位導出。

本書所用的是國際制單位（簡寫為 SI）。其基本單位為

長度 = m

時間 = s

質量 = kg

力 = N (newton) 或 $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$

力與質量單位必需分清。質量為物質的總量或性質，用 kg 或 g 的倍數來測量，力用 (newton , N) 來量測，其等效單位為 $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ 。這是由物理上力與質量間的關係推導得來

$$F = ma$$

其中 a 為加速度，單位為 m/s^2 。因此，力的單位為

$$F = ma = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = \text{newton}$$

因此，1 N 的力，施在 1kg 質量的物體上，將有 1.0 m/s^2 的加速度。意指，不論是 N 或 $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ ，皆為力的單位。事實上，本書中各種計算，需要對 N，kg 間彼此轉換使用。

本書中所指的“重量”(weight)是地球施於物體的吸力，或是流體受着重力加速度。因此，可說，容器內的水重 1250 N；但談到物體的物質性質時，所指的是“質量”(mass)。例如，質量 5.60kg 的石塊由一條線懸掛。為決定有多少力作用在線上，必需用 Newton 重力法則 ($w = mg$) 來計算

$$w = mg = \text{質量} \times \text{重力加速度}$$

在標準狀況下，海平面上的 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ，因而得

$$w = 5.60 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 54.9 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 54.9 \text{ N}$$

亦即質量 5.60 kg 的石塊，重 54.9 N 。

在研讀流體力學時，因真實物理性質的尺寸範圍很廣，因而加用單字首 (prefixes) 作為基本性質的量的指標。表 1.1，為這些字首的 SI 制用法。係依 10^3 作變動。所算出的結果，必需使數字介於 0.1 到 10000 間，再乘上 10^3 倍。故用字首表示單位，將是很適宜的。設例如下

計 算 結 果	報 導 結 果
0.00423 m	$4.23 \times 10^{-3} \text{ m}$ 或 4.23 mm
15,700 kg	$15.7 \times 10^3 \text{ kg}$ 或 15.7 Mg
86,330 N	$86.33 \times 10^3 \text{ N}$ 或 86.33 kN

表 1.1 SI 制字首

字首	制	因數
giga	G	$10^9 = 1\,000\,000\,000$
mega	M	$10^6 = 1\,000\,000$
kilo	k	$10^3 = 1\,000$
milli	m	$10^{-3} = 0.001$
micro	μ	$10^{-6} = 0.000\,001$

1.4 方程式中單位的一致性

在流體力學分析中，常有許多代數項相乘，這些方程式通常很複雜，因而所得結果的單位要**正確一致** (consistent) 是相當重要。亦即必需具適當的單位，如在方程式中的單位不能一致，則所得數值將會錯誤。

一個直截的步驟是，單位消去法。不僅在流體力學中適用，在其他工程計算上，均能保證得到正確結果，這六個步驟分列如下

單位消去法用的六個步驟

- (1) 解所需項的代數式。
- (2) 決定結果的適當單位。
- (3) 代入含有單位的已知值。
- (4) 刪去任何項中分子與分母同時出現的單位。
- (5) 利用轉換因數，刪去不必要單位，得到步驟 2 的正確單位。
- (6) 完成計算。

這些步驟，將適用於任何方程式中。雖很簡單，但在實用上確需利用這些步驟。茲引入一些物理基本資料，使讀者熟悉此一方法。最重要的是如何去使用它。下列的例題用 **程式指示** (programmed instruction) 來說明。經由一步接一步的方式，使參予每一步驟的運算，以完成問題的解決。

為進行此項程式，必需研讀“**程式例題**”的所有內容。應準備空白厚紙來處理所要求的運算。第一步為問題的說明與要做某些運算或回答的問題。在完成此一步驟後，接下來檢驗你的結果，然後再接另一步，直到程式完成為止。

記住，這樣做的目的，可學得如何利用消去法而得到正確解答。但也能參考附錄 H 的轉換因數表。

程式例題

例題 1 - 1

假設駕駛者以 80 km/h 的等速行駛，問當行駛 1.5 km 時，需要多少秒？

解：本題的解，可使用下式

$$s = vt$$

其中 s 表所行距離， v 為速度， t 為時間。用上述的單位消去法步驟，試問先要做些什麼。

第一步是解所要項，因所求的為時間，故需改寫成

$$t = \frac{s}{v}$$

然後再進行第二步。

第二步是決定結果的適宜單位。本題的適宜單位為秒，如無特殊的設定單位，可選擇小時（hr）作為時間單位。

再進行步驟 3，結果得

$$t = \frac{s}{v} = \frac{1.5 \text{ km}}{80 \text{ km/h}}$$

對消去法，若單位為複分式，在處理時並不方便。轉換成簡分式，可寫成

$$t = \frac{\frac{1.5 \text{ km}}{1}}{\frac{80 \text{ km}}{\text{h}}}$$

如此能化成

$$t = \frac{1.5 \text{ km} \cdot \text{h}}{80 \text{ km}}$$

在做過若干題後，便可直接寫出此種形式。現進行第四步驟，其結果變為

$$t = \frac{1.5 \text{ km} \cdot \text{h}}{80 \text{ km}}$$

由此看出，如在分子與分母出現相同單位時，可同數字一樣的消掉。

進行第五步驟，其答案為

$$t = \frac{1.5 \text{ km} \cdot \text{h}}{80 \text{ km}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

以上一系列步驟是說明如何消去 km，再將時間由小時轉換成秒。雖然小時也是時間單位，但所要的是秒，如步驟 2，因此，就

需要轉換因數 3600 s/h 。

我們如何知道要乘上 3600 呢？

用轉換因數的目的是，消除小時單位代以秒單位。因不要小時單位，在最初方程式中為分子，為要消去它，在轉換因數的分母必需用小時。

現在有了秒的時間單位，就能進行第 6 步驟。

正確的答案為 $t = 67.5 \text{ s}$ ，在每一步驟中，都可用電算機來計算。解決這一簡單問題，該對單位消去步驟有足夠的信心。

例題 1-2

圖 1.2 為滾動輸送機上的流體動力發動器，推送質量 45 kg 的盒子。假設無磨擦。試求出發動器所需施加的力，使盒得 3.8 m/s^2 的向前加速度？

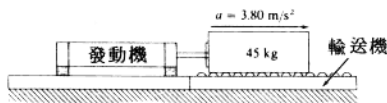


圖 1.2

解：由物理得知，力與加速度成正比，即 $F = ma$ 。因力是所要求的，故單位消去法的第一步驟已完成。

現進行第 2 步驟。用力的標準單位 N 表示其結果。現進行第 3 步驟，其答案為

$$F = ma = (45 \text{ kg})(3.80 \text{ m/s}^2) = 171 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

記住， N 與 $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ 的單位相同。故最後結果為

$$F = 171 \text{ N}$$

不再需要作更進一步驟。

例題 1-3