

科學圖書大庫

應用力學概論

譯者 樓景湖

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

應用力學概論

譯者 樓景湖

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有

不許翻印

中華民國六十八年三月六日初版

應用力學概論

基本定價 2.80

譯者 樓景湖

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
7815250 號

發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第15795號

承印者 大原彩色印製企業有限公司 台北市西園路2段396巷19號
電話：3611986・3813998

原 序

本書負有雙重之任務。一方面爲使初學技術者提供進一步之研究基礎。另一方面則爲使讀者對於全部力學有一清楚之概念，並能在實際上作多方面之應用。

在每一上述兩大任務之中，對於以後每作深入之研究，尚嫌基礎過淺。至於所遇到之問題，祇能藉微積分之助，才能作圓滿之解答，故其價值遠在一般基本數學之上。解決實際上之問題，通常均需經過高等數學之概念，與其程序上之思考。至於在實際十分重要而時常所遇到之螺旋摩擦，即使不編入力學之中亦無不可。

關於力學之範圍均已將其全部納入，並照數學之程序系統而編排，先從運動學開始，如力之概念，同時尚需要有進一步之概念，以至逐漸進入力相爲止。茲爲便於理解起見，本書中特別引用若干物理學之基本知識。

在讀者之中，如遇到乏味之題材，則可將其分開，以備留作日後參考之用。對於實際工作者而言，可以將全部材料作一概括性之瞭解，並包括全部例題在內。

經過理論上之探討後，大致隨即列舉簡易之例題，藉以獲得一清晰之概念。至於工程上之計算多用計算尺，其結果祇需要整數即可。

有關數學之知識祇用到代數、幾何、三角與解析幾何而已。

新版已改用國際單位制，而舊單位仍不時在本書中現出，但隨後均註以國際單位制。至於每章中之公式、定理與例題均註以號碼。

撰寫本書之時，承容恩（Jung）伊錫隆（Iserlohn）兩教授博士提供珍貴之意見，特致謝忱。

龐納（Boerner）教授 1974年四月於德國挨森城

譯 序

應用力學爲從事機械、航空、造船、土木、建築等工程工作者必須修習最基本課程之一。本書作者龐納博士 (Dr von Paul Borner) 爲現代工程學權威，現在西德埃森技術學院教授兼院長。本書係以物理爲基礎，探討力學在工程方面之用途。書中所列舉之例題均採用國際單位制，其優點爲十進位，計算極爲簡便。譯者將圖中之單位仍沿用原文，而在演算之過程中，則均用中文之單位，但其間亦略帶原文如牛頓、百萬、焦耳等即爲其例。同時用兩種文字之單位，對於將來在工作上有極大之效用。本書可以作爲初學力學者之教材，至於自修或工作上之參考，亦頗有價值。在公式符號與單位之附表中，將中文與原文名稱對照並列，而其他一般之中文與原文名稱對照表則從略。譯文容有不雅馴者，但以不背作者之原意爲主。本書之譯雖勉竭駑駘，仍難免有誤，尚祈海內外讀者賜正爲幸。

本書譯成後承名教授王石安博士勘校深爲感謝。

樓景湖 序於中壢市中華民國六十七年夏

目 錄

原 序

譯 序

致讀者

第一章 直線運動	1
1.1. 力學之本質	1
1.2. 等速度運動	2
1.2.1. 說明	2
1.2.2. 速度	4
1.2.3. 物理量之計算	5
1.2.4. 速度 v 之再說明	10
1.2.5. 速度—時間—展示圖	12
1.2.6. 中等速度	13
1.3. 等加速度運動	14
1.3.1. 說明	14
1.3.2. 加速度	17
1.3.3. 由速度—時間—函數來確定距離	22
※1.3.4. 由距離—時間—函數來確定速度	27
1.3.5. 結論	33
1.3.6. 等減速度運動	35

1.3.7.	自由降落運動	38
1.3.8.	垂直拋射	40
※ 1.4.	非等加速度運動	41
※ 1.4.1.	說明	41
※ 1.4.2.	由距離—時間—展示圖之圖解來確定速度 v 與加速度 a	41
※ 1.4.3.	由距離—時間—函數來計算速度 v 與加速度 a	44
※ 1.4.4.	運動之種類	45
※ 1.4.5.	由加速度—時間—展示圖來確定速度 v 與距離 s	46
※ 1.4.6.	其他關係	47
第二章	綜合運動	49
2.1.	多種直線之連續運動	49
2.1.1.	同一方向之運動	49
2.1.2.	解答習題之通則	51
※ 2.1.3.	往返運動	54
※ 2.1.4.	各種效果線上之運動	57
2.2.	直線部份運動重合後之直線運動	58
2.2.1.	同一效果線上之運動	58
2.2.2.	各種效果線上之運動	61
2.3.	曲線運動	66
2.3.1.	拋射運動	66
2.3.2.	等速度之圓周運動	69
※ 2.3.2.1.	分析與一般性質	69
2.3.2.2.	等速度圓周運動之實際計算	78
※ 2.3.3.	加速度之圓周運動	83
※ 2.3.3.1.	切線與法線之加速度	83
※ 2.3.3.2.	角加速度	86
※ 2.3.3.3.	任意軌道上之運動	89
※ 2.3.3.4.	運動種類之概要與結論	89

第三章 力與質量	92
3.1. 力之概念	92
3.1.1. 力爲加速度之原因	92
3.1.2. 力爲反力之原因	93
3.1.3. 力爲變形之原因	93
3.2. 力之分類	93
3.2.1. 接觸力與遠力	93
3.2.2. 外力與內力	93
3.2.3. 壓力與拉力	94
3.3. 質量與力之單位	94
3.3.1. 質量之概念	94
3.3.2. 質量單位	95
3.3.3. 力單位	95
3.3.4. 重量與重力	96
3.3.5. 力與質量之關係	97
3.4. 動力學之基本定律	99
3.4.1. 一種力對於動力學之基本定律	99
3.4.2. 多種力之動力學基本定律	100
3.5. 力之確定，展示與性質	103
3.5.1. 力之確定	103
3.5.2. 力之展示	105
3.5.3. 由兩種力所合成之力	105
3.5.4. 由多種力所合成之力	106
3.5.5. 力之分析	107
3.5.6. 繩，棒，球形物體在軸承上之力	109
3.6. 平衡	109
3.6.1. 靜力平衡	109
※ 3.6.2. 動力平衡	116

第四章 由力所產生之概念	120
4.1. 旋轉力矩	120
4.1.1. 由旋轉軸所產生之旋轉	120
4.1.2. 旋轉力矩量之定義	120
4.1.3. 非切線受力之旋轉力矩	121
4.1.4. 多種力之旋轉力矩	122
4.1.5. 由多種力所產生之平衡力矩	123
4.1.6. 力矩定理	125
4.1.7. 非平行力之力矩定理・平衡條件	129
4.1.8. 力對	132
※ 4.1.9. 旋轉運動之動力	134
4.2. 重心	137
4.2.1. 兩質點之重心	137
4.2.2. 四質點之重心・平衡之種類	138
4.2.3. 對稱物體之重心	139
4.2.4. 面積與線之重心	140
4.2.5. 平行四邊形，三角形與梯形之重心	141
4.2.6. 綜合形體之重心	143
※ 4.2.7. 其他形體之重心	146
4.3. 功	149
4.3.1. 定義與單位	149
4.3.2. 在曲線上運動之功	152
4.3.3. 非朝向距離方向之力，其所產生之功	153
※ 4.3.4. 由一種變化力所產生之功	154
※ 4.3.5. 變形之功	156
4.4. 能	157
4.4.1. 動能	157
4.4.2. 功之定理	161
4.4.3. 位能	162

4.4.4.	能之定律	164
4.5.	功率	170
4.5.1	基本定義與單位	170
4.5.2.	對功率 P 作進一步之解釋	171
4.5.3.	由功率所產生之功單位	175
4.5.4.	圓周運動之功率	176
※ 4.5.5.	功率圖與中等功率	178
4.6.	效率	180
4.6.1.	確定概念	180
4.6.2.	常數功率之效率	181
※ 4.6.3.	變化功率之效率	182
4.6.4.	重要提示	183
※ 4.7.	推動力與動量	185
※ 4.7.1.	推動力定理	185
※ 4.7.2.	力，功，能，功率與推動力之關係	189
第五章	其他力相	194
5.1.	摩擦力	194
5.1.1.	接觸面之靜摩擦	194
5.1.2.	接觸面之動摩擦	199
5.1.3.	其他接觸面之摩擦	201
※ 5.1.4.	滾動阻力，行駛阻力	205
5.2.	內力（材料力學）	207
5.2.1.	內力之確定	207
5.2.2.	內力之種類	208
5.2.2.1.	應力	208
※ 5.2.2.2.	合成應力	209
5.2.3.	橫斷面中內力之分佈・應力	211
5.2.3.1.	平均分佈之力	211
5.2.3.2.	接近平均分佈之力	214

5.2.3.3.	全非平均分佈之力	215
5.2.4.	材料中內力之效果	221
5.2.4.1.	確定概念	221
5.2.4.2.	應用實例	222
※ 5.2.4.3.	輕微變形之計算	223
5.3.	熱力	225
5.3.1.	溫度之概念	225
5.3.2.	熱量之概念	228
5.4.	液體力	231
5.4.1.	不計重力之靜態液體	231
5.4.2.	在重量效果下之靜態液體	235
5.4.3.	液體之流動	239
5.5.	氣體力	240
5.5.1.	氣體壓力	240
5.5.2.	波義耳—馬略特定律	241
5.5.3.	蓋呂薩克定律	242
5.5.4.	理想狀態之方程式	243
附 錄	(一) 公式符號與單位表	248
	(二) 習題答案	252

致讀者

1. 書中所有之說明、例題與補充資料等，對於理解甚為重要，此中包括最重要之力學定理與公式等。
2. 凡在各節中有此※符號者，係因含義較深而不易瞭解，可以迅速通過，不致有不良之影響。
3. 大多數之方程式與公式均編有號碼。
4. 大多數之定理、規則或定義，通常均稱之為定理，並編有號碼，或用點之符號。
5. 大部分之綜合單位均用斜線來表達，惟有時亦會用到負號之指數。至於斜線之表達如 $2 \text{ 公尺/秒} + 3 \text{ 公尺/秒} = 5 \text{ 公尺/秒}$ ； $2 \text{ 公尺/秒} \cdot 3 \text{ 秒} = 6 \text{ 公尺}$ 。
6. 在公式之中，通常以點代表乘法，惟有時出現 dx 或 Δs 等符號，係代表劃分界限之意。

第一章 直線運動

1.1. 力學之本質

力學爲研究一種力與其效果之學問。至於力之效果以發生在運動中最爲顯著。直接確定力在運動中之概念頗爲不易，惟吾人觀察每一運動中所發生之現象，可以得到一個一般性之概念，即空間與時間有密切之關係。易言之，探討一物體之運動，在時間範圍以內，改變其在空間之位置。

首先討論純運動與其有關之定理，隨後爲由力產生運動之原因，再進而討論運動學之定義其量等。

在進入運動學之前，應學習用數字測量之方法，可以確定一部份有限度之空間與時間，故必須先確定其單位。長度之單位爲公尺，而時間之單位爲秒。

一公尺爲相當於地球圓周四百萬分之一。有關十進位之單位列表於下：

$$1000 \quad \text{公尺} = 10^3 \quad \text{公尺} = 1 \text{ 公里}$$

$$0.1 \quad \text{公尺} = 10^{-1} \quad \text{公尺} = 1 \text{ 公寸}$$

$$0.01 \quad \text{公尺} = 10^{-2} \quad \text{公尺} = 1 \text{ 公分}$$

$$0.001 \quad \text{公尺} = 10^{-3} \quad \text{公尺} = 1 \text{ 公厘}$$

其他單位

$$+ \text{ da} = (\text{Deka}) = 10^1$$

$$\text{百 h} = (\text{Hekto}) = 10^2$$

$$\text{百萬 M} = (\text{Mega}) = 10^6$$

$$\text{十億 G} = (\text{Giga}) = 10^9$$

微 $\mu = (\text{Mikro}) = 10^{-6}$

毫微 $n = (\text{Nano}) = 10^{-9}$

微微 $p = (\text{Piko}) = 10^{-12}$

以前之一秒爲平均星期日之一部份，此即 86400 分之一 (= 24 · 60 · 60 分之一)。惟自 1960 年起，將秒改爲一年之一部分，此即與天文學無關，新訂之秒爲一種固定之輻射振動（原子表）。

在技術上最常用之 1 秒爲：

$$60 \text{ 秒} = 1 \text{ 分}$$

$$3600 \text{ 秒} = 1 \text{ 時}$$

求長度之確定，可以用長度單位 1 公尺予以測量，如測量之結果爲 6 公尺，此即表示其長度爲 6 公尺。

此一 6 公尺與所有類似之表達，皆稱爲一種物理之量。此種量爲以數值（6）與單位（1 公尺）所乘之積。同樣之情形爲（15 秒）亦爲一種量，並以數值（15）與其單位（1 秒）所乘之積。通常可以作下列有效之假定。

1. 大部分之定理、公式均以點狀之物體爲依據。如物體之體積發生膨脹，亦應有一定之容積，而應作正確之示明。
2. 地球可以視爲靜態，而一切之運動皆在地球上發生。
3. 通常爲如無摩擦之存在，則物體在運動時不會有相反之阻力（如有墊底或空氣等）。
4. 吾人所討論之問題，祇限於在平面與軌道上所進行者，至於立體之問題則不在此限。

1.2. 等速度運動

1.2.1. 說明

定義

在吾人想像中最簡單之運動，爲物體經常保持一種等速度之運動。例如一輛自行車，每秒可以達到 7 公尺之距離然。

長度與時間可以在任意之情形中舉行運動，其在同一時間以內，所

能達到一定之距離，稱為等速度。

例如一輛自行車，每日可以行駛 50 公里，惟有時需在中間停駛，故其運動之速度則不能稱為等速度。物體等速度運動之條件，須將物體在極短之時間內，能達到一定之距離。吾人可以作下列之定理：

●● 第 1.1. 定理：一等速度運動之物體，必須在一定的時間以內，能達到一定之距離（可以選擇任意短之時間）。

任意短一詞係指正確而言，亦即無窮短之意。

■ 解

茲為自行車之運動，其每秒行駛 7 公尺，可以制成一個明確之圖，並以平行軸作為時間軸，在同一軸上可以任意選擇相當於每秒之長度，待達到每一固定之點，即可制成一種垂直線（詳第 1.1. 圖）。至於距離之尺寸經過時間之 0 點而成為垂直線。

吾人可以將各垂直線之終點互相連接起來，遂成爲一種時間—距離—直線。此種圖可以稱爲距離—時間—展示圖。（或距離—時間—圖）。此種十字軸亦可以稱爲坐標系統。

至於鐵路火車每分行駛 1.5 公里之等速度運動，亦可以制成一直線（詳第 1.2 圖）。

距離—時間—線上之距離爲有賴於時間，而等速度之運動，在時間軸上爲一有傾斜度之直線。惟在靜態時爲與時間軸互相平行。

吾人通常以 s 爲距離而以 t 爲時間。

在圖中可以看出距離 s 與時間 t 之關係。若以數學之函數關係而言，則可以稱為距離—時間—函數與圖解展示圖。

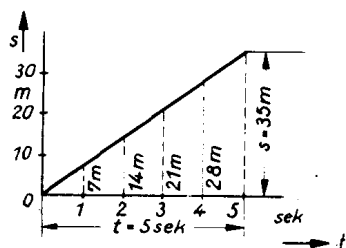


圖 1.1 自行車之等速度運動

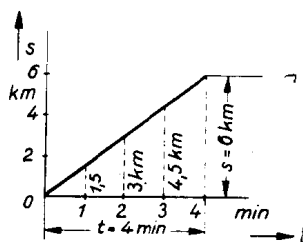


圖 1.2 鐵路火車之等速度運動

物體等速度運動最重要之性能爲速度 v 。

1.2.2. 速度

基本定義

一物體等速度運動之速度，爲距離與其有關時間之商，此即成爲：

$$\text{速度 } v = \frac{s}{t} \quad (\text{祇限於 } v \text{ 爲常數}) \quad \bullet\bullet \quad (\text{第1.1公式})$$

此中之 s = 距離爲公尺，

t = 達到距離所需要之時間爲秒，

v 即成爲公尺／秒。

速度爲由一種距離與時間之基本量，而所產生之量。至於基本單位爲由公尺與秒所產生之單位，再進而成爲公尺／秒之單位。惟此種基本單位祇適用於因素1（1公尺／秒 = 1公尺／1秒），並稱之爲有關單位，而公里／時（1000公尺／3600秒）則稱之爲無關單位。

第1.1例題：一輛自行車在5秒之內可以行駛35公尺，求其速度（詳第1.1圖）。

已知： $s = 35$ 公尺， $t = 5$ 秒。

求 v 。

$$\text{解答： } v = \frac{s}{t} = \frac{35 \text{ 公尺}}{5 \text{ 秒}} = 7 \frac{\text{公尺}}{\text{秒}} \quad \text{。吾人亦可以書成 } v = 7 \text{ 公尺／秒}$$

或 7 公尺秒⁻¹。

第1.2例題：一列鐵路火車在4分之內可以行駛6公里，求其速度。

已知： $s = 6$ 公里， $t = 4$ 分。

求 v 。

$$\text{解答： } v = \frac{s}{t} = \frac{6 \text{ 公里}}{4 \text{ 分}} = 1.5 \frac{\text{公里}}{\text{分}} = 1.5 \text{ 公里／分}。$$

第1.3例題：螺距 $h = 8$ 公厘，每分可以旋轉25次，求車床支座之速

度（詳第1.3圖）。

解答： $v = \frac{s}{t}$ ，此中之 s ，為車床支座之距離，

此即 $s = h \cdot t$ 為旋轉軸旋轉之時間，

$$\text{故 } t = \frac{1}{25} \text{ 分，由此成爲 } v = \frac{8 \text{ 公厘}}{\frac{1}{25} \text{ 分}}$$

$$= 200 \text{ 公厘 / 分。}$$

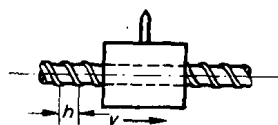


圖 1.3 車床支座

速度之測量

要想測量一段有固定距離之速度，則必須先確定其有關之時間。

第1.4例題：一輛在公路上行駛之小汽車，每5秒遇到一公里之示標石，其石之距離為100公尺，求此車之速度。

$$\text{解答： } v = \frac{s}{t} = \frac{100 \text{ 公尺}}{5 \text{ 秒}} = 20 \frac{\text{公尺}}{\text{秒}} = 20 \text{ 公尺 / 秒。}$$

1.2.3. 物理量之計算

a) 凡在本書中所列舉之公式，均為非常重要之方程式，其中包括公式中符號之字母，此即為物理量。

在重要之方程式中均有其量。一種量係由數值與乘其單位之積。

運用重要之公式如 $v = s / t$ 然。其中不但包括字母所代表之數值，而同時亦需將單位列入。因單位為計算量之所需，如速度 v 然。至於第1.1至1.4等例題，與以後所有之例題，均有參考之價值。

b) 換算某種量之單位，以其來源之單位不同，可能常會發生錯誤，故在計算之過程中，必須謹慎而照程序進行。在簡單之情形中，可以憑感覺來覆核，惟在複雜之情形中則不然。

第1.5例題：2.5公尺為等於若干公分？

解答：2.5公尺者即表示 $2.5 \cdot 1$ 公尺。

$$\begin{aligned} \text{而 } 1 \text{ 公尺} &= 100 \text{ 公分。故 } 2.5 \text{ 公尺} = 2.5 \cdot 100 \text{ 公分} \\ &= 250 \text{ 公分。} \end{aligned}$$

在吾人之感覺中，凡爲小單位則常爲大數之值。

註釋：吾人亦可以列如下之公式而予以計算：

$$\begin{aligned} 2.5 \text{ 公尺} &= 2.5 \cdot 1 \text{ 公尺} \\ &= \frac{2.5 \cdot 1 \text{ 公尺} \cdot 100 \text{ 公分}}{100 \text{ 公分}} = 2.5 \cdot 100 \text{ 公分} = \\ &= 250 \text{ 公分} \end{aligned}$$

第 1.6 例題：2.5 公尺爲等於若干公里？

$$\text{解答：} 2.5 \text{ 公尺} = 2.5 \cdot 1 \text{ 公尺} = 2.5 \cdot \frac{1}{1000} \text{ 公里} = 0.0025 \text{ 公里。}$$

在上題中所列者爲大單位與小數值之量。

第 1.7 例題：1.5 公里／分爲等於若干公尺／秒？

$$\begin{aligned} \text{解答：} 1.5 \text{ 公里／分} &= 1.5 \frac{\text{公里}}{\text{分}} = 1.5 \frac{1 \text{ 公里}}{1 \text{ 分}} = 1.5 \frac{1000 \text{ 公尺}}{60 \text{ 秒}} \\ &= \frac{1.5 \cdot 1000 \text{ 公尺}}{60 \text{ 秒}} = 25 \text{ 公尺／秒。} \end{aligned}$$

第 1.8 例題：25 公尺秒⁻¹爲等於若干公里／分？

$$\begin{aligned} \text{解答：} 25 \text{ 公尺秒}^{-1} &= 25 \frac{\text{公尺}}{\text{秒}} \\ &= 25 \frac{\frac{1}{1000} \text{ 公里}}{\frac{1}{60} \text{ 分}} = \frac{25 \cdot 60 \text{ 公尺}}{1000 \text{ 分}} = 1.5 \text{ 公里／分。} \end{aligned}$$

第 1.9 例題：0.00520 公分／時爲等於若干公尺／秒？

$$\begin{aligned} \text{解答：} 0.00520 \text{ 公分／時} &= 0.00520 \frac{\text{公分}}{\text{時}} \\ &= 0.00520 \frac{\frac{1}{100} \text{ 公尺}}{3600 \text{ 秒}} = \frac{0.00520 \text{ 公尺}}{100 \cdot 3600 \text{ 秒}} = 0.0000001445 \end{aligned}$$

公尺／秒。此種書法固屬正確，祇以零位太多，並不合實際之用