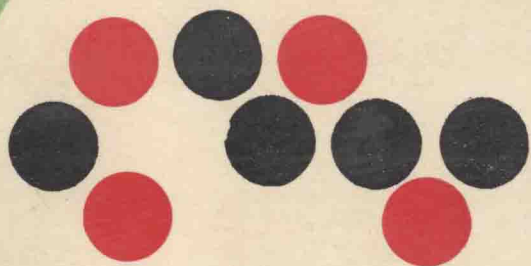


應用力學

朱有功 著

科學技術叢書／三民書局印行



應 用 力 學

朱 有 功 著

學歷：國立成功大學機械系畢業

經歷：私立新埔工專工業設計科主任

亞東工專兼任教授

國防部幹部訓練班兼任數學教授

現職：省立台北工專機械科教授



三 民 書 局 印 行

中華民國六十九年八月初版

◎應用力學

基本定價貳元伍角

版權所有
翻印必究

編著者 朱 有 功
發行人 劉 振 强

出版者 三民書局股份有限公司
印刷所 三民書局股份有限公司

臺北市重慶南路一段六十一號
郵政劃撥 九九九八號

行政院新聞局登記證 版業字第〇二〇號

編輯大意

1. 本書依據教育部66年7月頒佈之二年制機械工程科應用力學課程標準而編輯。可供機械工程科一年級應用力學教本之用。其中第一至第九章供上學期，第十至第十四章供下學期使用。並可供大專院校應用力學教本及參考之用。
2. 本書每章均提供若干例題，並於每章附若干習題，供學複習與練習。
3. 本書理論與實際應用並重，並採簡捷方式予以說明，避免過深的理論。
4. 本書中標有*字者，如限於時間可省略之。
5. 本書全一冊，附英中文索引。
6. 本書雖經謹慎編寫與核對，錯誤之處在所難免，尚祈惠予指教和批評。

應用力學 目次

第一章 基本概念

1-1 概說	1
1-2 基本因次與單位	2
1-3 誘導因次與單位	3
1-4 因次的齊次定律	4
1-5 純量與向量	5

第二章 向量運算

2-1 基本觀念	7
2-2 向量加減法，一向量與一純量的乘法	9
2-3 二向量的純量積	12
2-4 二向量的向量積	13
2-5 三向量的乘積	14

第三章 力

3-1 力的特性	17
3-2 內力與外力	17

3-3	力的可移性原則	17
3-4	力之合成與分解	18
3-5	一力對一點的力矩	20
3-6	一力對一軸的力矩	21
3-7	力矩原理, 瓦銳蘭定理	23
3-8	力偶與偶距	25
3-9	力偶的變換	26
3-10	分解一力為一力及一力偶	27

第四章 力系的合力

4-1	力系	31
4-2	等值力系	31
4-3	力系之合力	32
4-4	共線力系之合力	32
4-5	共面共點力系之合力	32
4-6	共面平行力之合力	36
4-7	共面非共點非平行力系之合力	40
4-8	空間共點力系之合力	42
4-9	空間平行力系之合力	43
4-10	空間非共點非平行力系之合力	44
4-11	結論	45

第五章 力系之平衡

5-1	概說	49
-----	----	----

5-2	分離體圖	49
5-3	平衡力系的平衡條件	50
5-4	解平衡問題的步驟	52
5-5	平面構架	54
5-6	構架分析	57
5-7	撓性繩索	60
5-8	拋物線索 (Parabolic Cable)	61
5-9	懸索	63
5-10	空間力系之平衡條件	66

第六章 摩擦

6-1	摩擦的性質	73
6-2	摩擦定律	73
6-3	摩擦係數	75
6-4	摩擦角與摩擦圓錐	76
6-5	含摩擦力之問題	78
6-6	撓性帶與平帶之摩擦	84
6-7	三角帶的摩擦	86
6-8	方螺紋	87
6-9	推力軸承及圓盤離合器的摩擦力矩	89
6-10	滾動摩擦	91

第七章 虛功原理

7-1	平衡問題之功能解法	99
-----	-----------	----

7-2	位移	100
7-3	功	101
7-4	虛功原理	101
7-5	平衡的安定性	105
7-6	守恆系勢與勢能	106
7-7	守恆勢的平衡	107
7-8	守恆系平衡的安定性	109

第八章 重心與形心

8-1	概說	119
8-2	質點系的質心	119
8-3	物體之重心與形心	121
8-4	以積分法求形心與重心	122
8-5	組合體之形心與重心	127
8-6	巴波定理	128
8-7	壓力中心	130

第九章 慣性矩（二次矩）

9-1	概說	139
9-2	面積慣性矩	139
9-3	質量慣性矩	149

第十章 運動學（絕對運動）

10-1 概說	159
10-2 基本定義	159
10-3 質點運動學一直角座標	160
10-4 質點運動學一極座標	162
10-5 質點運動學一圓柱座標	165

第十一章 運動學（相對運動）

11-1 概說	171
11-2 相對位移—動座標	171
11-3 相對速度	173
11-4 平面運動之瞬時中心	174
11-5 相對加速度	177
11-6 對迴轉座標之相對運動	178

第十二章 力、質量及加速度

12-1 概說	183
12-2 牛頓運動定律	183
12-3 質點之運動方程式	184
12-4 質點系質心之運動	185
12-5 解動力學問題的步序	186
12-6 剛體的移動	189

12-7	剛體的廻轉	191
12-8	剛體之平面運動	194
12-9	達蘭貝特定理	197

第十三章 功與能

13-1	導論	203
13-2	一力或一力系所做的功	203
13-3	能	206
13-4	勢能	207
13-5	一個質點的動能	207
13-6	剛體的動能	208
13-7	功與動能原理	209
13-8	能量的守恆	211
13-9	功率與效率	213
13-10	機械能的散失	214
13-11	結論	214

第十四章 衝量及動量

14-1	概說	219
14-2	線衝量	219
14-3	線動量	220
14-4	線衝量與線動量原理	221
14-5	可變質量系	221
14-6	線動量守恆	223

14-7 彈性碰撞.....	224
14-8 角動量.....	225
14-9 角動量原理.....	226
14-10 角衝量與角動量原理.....	227
14-11 角動量守恆.....	229
14-12 中心力運動.....	229
14-13 迴轉儀及陀螺.....	231
14-14 結論.....	233

中英名詞索引

第一章 基本概念

1-1 概說

力學 (Mechanics): 廣義而言為研究物體運動的科學，靜止物體可認為是運動的特例。

應用力學 (Applied Mechanics) 或剛體力學 (Rigid Body Mechanics), 其目的是要尋求支配各種物體（多限於固體）運動的定律，並利用分析或數學的方法，將之應用在工程問題上。

應用力學的研究，按力學可分為下列三個主要部份：

(1) **靜力學 (Statics):** 專門討論物體在平衡狀態（靜止狀態）所受的平衡力。

(2) **運動學 (Kinematics):** 專門討論物體的運動情形，而不考慮產生此運動的原因。

(3) **動力學 (Kinetics):** 專門討論物體受不平衡力，而產生變速或加速度運動的情形。(2)(3)兩項亦合稱為動力學 (Dynamics)。

牛頓運動三定律 (Newton's Three Laws of Motion): 應用力學係以牛頓運動三定律為基礎，特簡述於後：

(1) **第一定律:** 一物體除非受一不平衡力的作用，否則物體將繼續維持其靜止狀態，或在直線上作等速運動。

(2) **第二定律:** 一物體受一不平衡力 $\mathbf{F}$ 之作用，則沿該力方向產生一加速度 $\mathbf{a}$ ，兩者成正比例，比例常數為物體的質量 m 。以公式表示之為

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

(粗線條字 **F** 及 **a** 表示有大小有方向之向量，容於 1-5 節中詳述之。

(3) **第三定律**：每一作用力必有一大小相等方向相反的反作用力。即兩物體加於對方的作用力，必定為大小相等及方向相反的兩力。

牛頓萬有引力定律 (Newton's Law of Gravitational Attraction)：為兩質點間相互產生引力的定律，亦為與力學的基本定律，以數學式表示之為

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

式中 **F** 為相互引力， m_1 及 m_2 為兩質點質量， r 為兩質點間之距離， G 為萬有引力常數，公制中 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$ 。 m 為米， kg 為仟克， S 為秒，1-2 節中再詳細說明之。

1-2 基本因次與單位

力學所採用的三種基本量 (Fundamental Cuantities) 為長度、時間和質量，此種量可任意選定單位 (Unit) 和標準 (Standard)。

(1) 長度 (Length)：長度的公制 (M.K.S. 制) 標準單位為一米或一公尺 (Meter, 簡寫為 m)，為氬-86 (Krypton-86) 原子光譜橘紅色光波長的 1650763.33 倍。英工程制中則採用英尺或呎 (Foot, 簡寫為 ft) 為單位， $1^{\text{ft}} = 0.3048^{\text{m}}$ ，或 $1^{\text{m}} = 3.28^{\text{ft}}$ 。

(2) 時間 (Time)：時間的標準單位為秒 (Second, 簡寫為 S)，等於鉑 133 (Cesium-133) 原子振盪週期的 9192631.770 倍。

(3) 質量 (Mass)：標準質量是用鉑銥合金所製成的圓柱體，稱為標準仟克 (Kilogram, 簡寫為 kg)，保存在巴黎國際度量衡標準局中。標準仟克原意在攝氏 4°C 時 1 公升 (1000 C.C.) 水的質量。後經更精密的測定，兩者的值稍有不同。其他質量可利用精密天秤與標準仟克比較而測得。物體之質量為一常數，不因位置而異。

所有力學的量都可以用基本量如長度、時間和質量的數學組合來表示，此種數學組合有一定的因次 (Dimension)。常以 L 代表長度， T 代表時間， M 代表質量，則為基本的因次。例如速度的單位，可用基本單位“米/秒” (m/s) 來表示，用因次表示則為 L/T 。

1-3 誘導因次與單位

除了基本因次與單位，其餘的因次與單位，都可以用基本因次與單位表示其關係，故稱之為誘導因次與單位 (Derived Dimension and Unit)。例如速度的單位為 m/s ，加速度為 m/s^2 ；而速度的因次為 L/T ，加速度為 L/T^2 。

至於力 (Force) 的單位在公制中為牛頓 (Newton，簡寫為 N)， $1N$ 為使 $1kg$ 質量的物體產生 $1m/s^2$ 加速度所需之力，故 $1N = 1kg \cdot m/s^2$ 。而力的因次則為 $M \cdot L/T^2$ 。

依據牛頓萬有引力定律，在地球表面附近的物體，其質量為 m ，受地球的吸引力為其重量 W ，故

$$W = G \frac{mM}{R^2} = mg \quad (1-1)$$

式中 M 及 R 分別為地球的質量與半徑， $g = G \frac{M}{R^2}$ ，在公制中 g 的值大約為 $9.8m/s^2$ ，稱之為重力加速度。故

$$m = W/g \quad (1-2)$$

例如 $1kg$ 質量的物體，其重量 $W = 1 \times 9.8 = 9.8N$ 。又重力為 $490N$ 的物體，其質量 $m = W/g = \frac{490n}{9.8m/s^2} = 50kg$ 。

在英工程制中，力的單位為磅 (Pound，簡寫為 lb)，用彈簧秤稱得之，實際上，係用力作為基本單位。用一磅之力能使某物體產生 1 呎/秒² (ft/s^2) 之加速度時，則稱該物體之質量 1 斯辣 (Slug，簡

寫爲 SI)。故

$$1^{\text{lb}} = 1^{\text{sl}}, 1\text{ft/s}^2 = 1^{\text{sl}}\text{-ft/s}^2 = 4.4482\text{N}$$

或 $1^{\text{sl}} = 1\text{lb-s}^2/\text{ft}$

在英制中，因重力加速度 $g = 32\text{ft/S}^2$ ，由公式 (1-1) 及 (1-2) 知重力爲 1 磅之物體，其質量爲

$$m = \frac{1^{\text{lb}}}{32\text{ft/s}^2} = \frac{1}{32}^{\text{sl}} = 0.45359277\text{kg}$$

茲將 MKS 制及英工程制基本單位列如表 1-1。

表 1-1 單位系統

系統名稱	長 度	時 間	質 量	力
MKS	米(m)	秒(s)	仟克(kg)	牛頓(N) $\left(\frac{\text{kg-m}}{\text{s}^2}\right)$
英工程制	呎(ft)	秒(s)	斯辣(sl) $\left(\frac{\text{lb-s}^2}{\text{ft}}\right)$	磅(lb)

1-4 因次的齊次定律

檢驗力學公式是否有錯誤的方法是檢查公式中各項的因次是否相同，此即因次的齊次定律。例如在加速度運動公式中，位移

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = \frac{v_0 + v_t}{2} t$$

式中左式的 x ，其因次爲 L ；中式第一項 $v_0 t$ 的因次爲 $\frac{L}{T} \cdot T = L$ ，第二項 $\frac{1}{2} a t^2$ 的因次亦爲 $\frac{L}{T^2} T^2 = L$ ，右式的因次亦爲 $\frac{L}{T} \cdot T = L$ 。又單擺週期的公式爲

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

式中左式的因次爲 T，右式的因次爲 $\left(\frac{L}{L/T^2}\right)^{1/2} = T$ ，故而相符。

1-5 純量與向量

力學中的量，有些只需用“大小”或“多少”來確定之者，例如質量、長度、時間及面積等，我們稱之爲純量 (Scalar)。但有些力學的量，除了用大小來表示外，尚需指明一特定方向，才具有意義，例如力、速度和加速度都是，我們稱之爲向量 (Vector)。向量的代表符號在筆算時可在字母上加一箭號，例如 $\vec{a}$ ， $\vec{v}$ 等來表示之，印刷時則用黑粗體字如 **a**，**v** 等表示之。

習 題

1. 一物體的質量爲 (a) 80kg (b) 2500kg，其重量以牛頓 (N) 表示之，應爲多少？
2. 一物體的重量為 (a) 4 磅，(b) 32 磅，其質量以斯辣 (sl) 計，應爲多少？
3. 將 (a) 200^{lb-ft} 化爲 N-m (b) $300^{lb/fl^3}$ 化爲 N/m^3 ，(c) $6^{ft/s}$ 化爲 m/s 。
4. N/m^3 的因次爲何？ $lb-ft$ 呢？

