

應用力學

季文美編譯

香港 正育圖書有限公司 出版

應 用 力 學

季 文 美 編 譯

香 港 五 育 圖 書 有 限 公 司 出 版

• 季文美編譯 •

應 用 力 學

出 版 行 : 三 育 圖 書 有 限 公 司

香港九龍柯士甸道33號二樓

San Yu Publishing Co. Ltd.

33, Austin Road 1/F., Kowloon Hong Kong

印 刷 : 永 生 印 刷 公 司

九龍馬頭圍道二三二號

1980年8月版

版權所有 • 翻印必究

弁 言

1. 本書係根據 Seely and Ensign 所著的 *Analytical Mechanics for Engineers* 編譯而成。書名直譯，應為分析力學。但國內大學採用是書作為應用力學課本者，極為普遍。故仍名為應用力學。

2. 原書內容，大體上深淺恰當，詳簡適宜；措辭相當嚴謹，而不流於艱澀。靜力學，運動學，與動力學，分列三篇。但將力學中較繁複的題材，如機器的振動與均衡，及哥賴奧利定律等，彙集成第四篇，約佔全書篇幅六分之一（講授時間，則約需全學程時間四分之一）。而第四篇中各章內容，彼此獨立，並不前後連續。故上課時間極富伸縮性，自六十至八十小時，均可按原定次序逐節講授。

3. 本書中章節目次，極少更動，可謂與原書相同。但各節內容，則頗多刪節或補充；有數節係完全另寫。大多以歷年來授課前所作割記為根據。

4. 原書有習題一千餘，經編者刪去三百餘題，另自其他書籍選出一百餘題，加入本書。編者認為：滿足下列任何二條件者，均應刪去；而滿足下列任一條件者，均不應自其他書選入：

- (1) 數字計算過繁而又無答案者，
- (2) 性質與其他習題極小差別或竟雷同者，
- (3) 不必瞭解力學原理即可“死代”公式求出解答者，
- (4) 用到的數學關係（如幾何關係，三角函數，雙曲線函數等）艱難而用到的力學原理反極簡單者，
- (5) 原文過於冗長而並無若何工程意義者，
- (6) 圖圖相隔過遠者，

不過這只是原則。普通担任力學課程者，對習題都有些癖好；因而取捨之間，難免心存姑息。

所加習題大多自下列各書中選出：

Timothenko and Young	Engineering Mechanics, 1940
Den Hartog	Mechanics, 1949
Poorman	Applied Mechanics, 1949
Brown	Engineering Mechanics, 1942
Wittenbauer	Aufgaben aus der Technischen Mechanik I Band, 1946

5. 至本書中的度量衡單位，頗多同人勸編者改用公制。應用力學中的單位，由英美制改為公制，事實上極少困難。但1吋4牙的螺旋，不應改為2.5 釐4牙的；其他機件的尺碼，亦大多不能用同法折算。中國將採用公制，迨無疑問；但各公制國家，工業標準亦彼此互異。在政府或工業界未有相當普遍通用的工業標準之前，將書中單位加以更改，反滋紛擾；而在工業標準相當確定之後，則書本上的改換單位，並非難事。編者希望中國能造出許多新的單字，代替現有的公噸，公里，公斤等名詞，使講與寫都可較為方便；同時採用一些相當國際性的kg, km等，作為書寫時的符號。

6. 本書上册付印前，承王子昌兄校閱全稿，並代自德文書中選取習題；黃席棠兄校閱第二章；樓鴻棣兄校閱第六、七兩章，並代選動力學的一部份習題；對本書初稿，各提出指正多處。崔振源兄校讀全稿，協助選擇習題，編製目錄與索引，並參加初二校工作；航空系畢業同學陳舜揆君協助選擇上册習題。編者對上述各位，謹致深切的謝意。

7. 本書雖經多位先生的熱心協助，但編者學力淺薄，疏誤定多。謹請讀者惠予指正。

季文美

目 錄

第一篇 靜力學

第一章 基本概念及定義

1. 緒言.....	1
2. 剛體.....	2
3. 力的概念.....	2
4. 力的外效應.....	3
5. 力的特徵.....	4
6. 可傳性原理.....	4
7. 力的測量・單位.....	4
8. 純量與矢量 力的矢量圖示法.....	5
9. 力的分類.....	6
10. 平行四邊形與三角形定律.....	7
11. 力的分解.....	10
12. 力對於一線或一點的力矩.....	15
13. 力矩原理 萬里農定理.....	18
14. 力偶.....	20
15. 力偶的特徵.....	21
16. 力偶的變換.....	21
17. 力偶的矢量圖示法.....	23
18. 分解一力為一力偶與另一力.....	24
19. 習題解答法.....	27
20. 因次方程式.....	29

第二章 力系的合力

21. 緒言·····	35
§ 1. 共線力線	
22. 代數法·····	35
§ 2. 共面, 共點, 非平行力系	
23. 作圖法·····	36
24. 代數法·····	37
§ 3. 共面, 非共點, 平行力系	
25. 作圖法·····	40
26. 力矩原理·····	44
27. 代數法·····	45
§ 4. 共面, 非共點, 非平行力系	
28. 作圖法·····	49
29. 力矩原理·····	50
30. 代數法·····	51
§ 5. 空間, 共點, 非平行力系	
31. 圖解法·····	54
32. 代數法·····	55
§ 6. 空間, 非共點, 平行力系	
33. 代數法·····	56
34. 圖解法·····	58
§ 7. 空間力偶系的合力偶	
35. 力偶系的合成·····	60
§ 8. 空間, 非共點, 非平行力系	
36. 代數法·····	63

第三章 力系的平衡

37. 緒言	69
38. 平衡的作圖條件	69
39. 平衡的代數條件	70
40. 分離體圖	71
§ 1. 共線力系	
41. 平衡方程式	75
§ 2. 共面, 共點, 非平行力系	
42. 平衡方程式	76
§ 3. 共面, 非共點, 平行力系	
43. 平衡方程式	83
§ 4. 共面, 非共點, 非平行力系	
44. 平衡方程式	88
45. 一個典型題的圖解	93
46. 解答平衡力系題的步驟	94
§ 5. 桁架與繩纜的平衡	
47. 桁架各構件中的內力	100
48. 桁架應力的圖解法	106
49. 懸索	109
50. 載荷沿水平方向均佈的懸索	109
51. 載荷沿弧均佈的懸索	114
§ 6. 空間, 共點, 非平行力系	
52. 平衡方程式	117
§ 7. 空間, 非共點, 平行力系	
53. 平衡方程式	122
§ 8. 空間, 非共點, 非平行力系	
54. 平衡方程式	125

第四章 摩 擦

55. 緒論.....	131
56. 摩擦係數.....	132
57. 摩擦角.....	133
58. 摩擦定律.....	134
59. 包括摩擦力的習題的類別	135
60. 軸承摩擦.....	143
61. 螺旋.....	150
62. 皮帶摩擦.....	153
63. 滾動摩擦.....	158

第五章 一次矩與形心

64. 一次矩.....	163
65. 形心.....	163
66. 對稱面與對稱軸.....	167
67. 用積分法求形心.....	167
68. 合成形體的形心.....	173
69. 巴布斯與古爾廷努斯定理.....	178
70. 壓力中心.....	180
71. 用圖解法求面積的形心.....	182
72. 用實驗法求物體的重心.....	182

第二篇 運 動 學

第六章 質點的運動

73. 緒言.....	185
74. 矢量的加與減.....	185

75. 運動的種類	186
76. 線位移	186
77. 角位移	187
78. 線位移與角位移間的關係	188
79. 線速度與線速	189
80. 角速度	191
81. 線速度與角速度的關係	195
82. 分速度	197
83. 線加速度	200
84. 直線運動中的加速度	201
85. 等加速直線運動	206
86. 簡諧運動	210
87. 曲線運動中的加速度	214
88. 角加速度	217
89. 等加速圓周運動	218
90. 線加速度與角加速度的關係	218
91. 軸向分加速度	221
92. 相對運動	224

第七章 剛體的運動

93. 緒言	233
94. 平移	233
95. 迴轉	234
96. 平面運動	236
97. 瞬時中心	243

第一篇 靜力學

第一章 基本概念及定義

1. 緒言 力學，照廣義解釋，就是研究物體運動的科學，靜止物體可視為運動物體的一特例。無論氣體、液體、或固體，大至天體的運行，小至分子、原子、以及電子的振動，其運動定律，均為力學研究的對象。故在天文學與物理學中，以及在工程結構與機器的研究中，力學均佔極重要的地位。

廣義的力學可分為：流體力學，專論氣體與液體的運動；天體力學，研討天體的運行；統計力學，探求無量數細小物體的平均運動；材料力學與彈性力學，研究工程材料承受外力時的強度與變形；以及應用力學等。

應用力學，即本書中所擬討論者，僅研究工程中所常遇到各種物體（大多限於固體）的運動，求出支配各種運動的定律，並進而推求在工程中此種定律的應用。

運動定律以若干基本概念為基礎。所謂基本的，即任一概念，均不能用其他概念或更簡單的方式表達之。例如幾何學中“兩點決定一直線”，“兩點之間直線最短”等。此種概念的產生，由於人類經驗的累積。其內容如此簡單，又如此為我們所熟習，故事實上不能亦不必加以證明，即視為公認的公理（Postulate）。運動定律所根據的基本概念為：

- (1) **力** 由肌肉的拉伸與推壓，即可覺察力的存在。
- (2) **物體或物質** 力必藉物體或物質方能作用，如無物體與物質，力即無法存在。
- (3) **空間** 即幾何學的空間，點、線、面、體，均可在空間運動，點動成線，線動成面，面動成體。點與體的運動，即為力學研

究的對象。

(4) 時間 事件發生的先後，及其持續的久暫，即有時間的概念。

力與物質的意義，以後當可有更明確的瞭解；讀者現僅須認識其存在。

應用力學，為便於研討，普通分為下列三部：

第一部 靜力學 專論受力物體的平衡條件。平衡的物體，或為靜止，或為等速度運動。

第二部 運動學 專論物體的運動，即空間與時間的關係，而不計及影響或產生此運動的原因，故亦稱為運動幾何學。由空間與時間二基本概念，可求出速度與加速度等量。

第三部 動力學 以受力而有變速運動的物體為對象，研究運動的改變，以及與此改變有關的因素，即運動物體本身的性質（質量，慣性等），及其他物體對此運動物體所作用的力。

2. 剛體 剛體是理想的物體，體內各點間的距離，均假定其永恆維持不變。世界上任何物體，均非剛體：石塊承受壓力，體積必將縮小；鋼桿承受拉力，長度亦必增加。事實上工程材料受力後的變形，為材料力學研究的主題。惟此種變形，往往如此微小，在應用力學中竟可略去不計。

根據此種理想的物體所得到的運動定律，即可應用（有時須加以修正）於實際的物理物體，而不致犯若何差誤。故本書中所論的物體，除少數例外，均視為剛體。

3. 力的概念 力是某物體甲對另一物體乙的作用，使後者的運動發生變化，或有發生變化的趨勢。所以力的觀念，包含兩個物體（或一個物體中的兩部份）。除非乙物體對運動的改變發生阻力，甲物體的力即

無由發生。一個力不能單獨存在，力必須是成對的：甲物體對乙物體作用的力，和乙物體對甲物體反作用的力，同時發生；而且將來研究牛頓定律後，我們會知道，甲對乙作用的力，和乙對甲反作用的力，大小相同，方向相反。

我們對於力的觀念，大多得自我們是互相互力作用的甲乙兩物體之一的時候。乙物體對於甲物體會產生反作用力的原因，由於(1)物體的剛度，即阻礙變形的特性，和(2)物體的慣性，即阻礙變更速度的特性。如果某物體僅被一個力作用，此物體的運動必將發生改變；如同時有兩個或更多個力作用，則此物體仍可能是靜止的。

力的發生，雖然一定是成對的，但在研究某一物體的運動時，我們只考慮這一對力中的一個，即其他物體作用於我們所研討的物體的力，至於此物體對其他物體的反作用力，常可置之不問。

4. 力的外效應 力作用於某物體時，對於此物體所發生的外效應：或改變其速度，或引起其他物體對此物體發生阻力(反力)。這兩種效應當然亦可以同時發生。例如：一物體受重力作用而自由降落時，重力作用於此物體的唯一外效應，是使後者有一加速度 g (32.2 呎/秒²，或 980 厘/秒²)；同一物體如置於一靜止或等速運動的升降梯的地板上，則重力作用的唯一外效應，是使地板對此物體產生一向上作用的反力；設此升降梯加速向下移動，其加速度小於 g ，則重力作用的外效應，一部分使此物體以與電梯相同的加速度下降，另一部分使地板對此物體發生一向上的反作用力。

力作用於剛體，只發生外效應；如作用於非剛體或彈性物體，則將同時發生內效應，即物體的變形與體內的應力。力所發生的內效應，是材料力學所研討的問題，本書中，除少數例外，均不論及。(註)

註。彈性物體，在某一限度內，應力與變形成正比， $\sigma = E\epsilon$ ；比例常數 E 即材料的彈性係數。

故物體如無變形，則必無應力。剛體的彈性係數可假定為無窮大，雖無變形，仍可有應力。

5. 力的特徵 從日常經驗,我們知道力作用於剛體所發生的外效應,視下列情形而決定:即(1)力的大小,(2)力的作用線的位置,及(3)力的指向。這三種性質,可名為力的特徵。任一特徵如有更動,則力的外效應亦必隨之改變。至於此種特徵的更動,究將如何改變物體的運動或反力,將於動力學與靜力學中分別討論之。

6. 可傳性原理 作用於剛體的力,如其方向,大小,及作用線均為一定,則此力的作用點,可沿作用線任意前後移動,力對剛體的外效應不變。這一由日常經驗證明的事實,名為可傳性原理。無論作用點在作用線上如何移動,而仍維持不變的,只有力的外效應。力的內效應(應力與變形),則隨力的作用點在作用線上的移動而改變。

7. 力的測量·單位 力的大小的不同,我們雖然容易覺察,但僅憑肌肉的感覺,決不能做精確的比較。要表示力的大小,必須選取一標準力作為單位。工程中普通以作用於某一標準物體在地面上某一固定位置時的重力,作為力的單位。例如:磅,噸,公斤,市斤等。作用於任一物體的地心吸力(即重力)隨物體的位置(高度與緯度)而稍有變更,但在大多工程計算中,重力的細微變更,可以略去不計。(註)

力的大小的測定普通用彈簧秤,或利用槓桿原理的天平秤,台秤等。

註:地球對於物體的吸力,與重力加速度(g)成正比。 g 值隨物體所在地的緯度、高度、與地質情形的不同而微有變更。自中國極北至極南,最大變更約為0.3%。

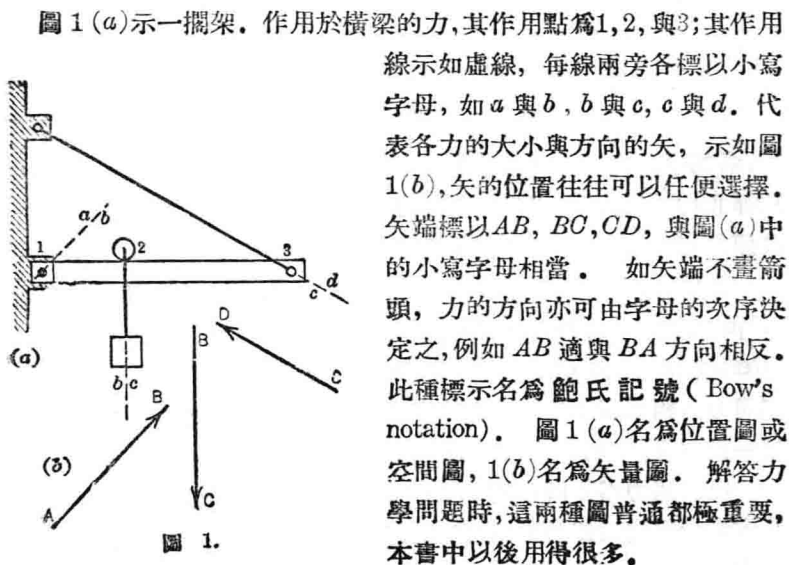
茲摘錄 1933—1939 前國立北平研究院物理學研究所的測定結果如下:

地名	緯度	高度(呎)	g (呎/秒 ²)
廣州	23°06'	23	978.631
昆明	25°02'	1893	978.367
重慶	29°34'	198	979.152
上海	31°11'.5	7	979.436
北京	39°55'.8	46	

長度的單位，如呎、碼、哩、呎、公里、市尺等，以及時間的單位，如秒、分、時等，讀者當已十分熟悉，沒有說明的必要。

8. 純量與矢量 力的矢量圖示法 物理學中，有許多量，祇有大小，而無方向，僅須標明其數值及單位，即可完全表示之，例如面積、體積、質量、溫度等，名爲純量或無向量。有許多量，則除數值和單位外，兼須說明其方向，方能完全表示之，例如速度、加速度、力、力矩、動量等，名爲矢量或向量。

矢量可由一有箭頭的直線線段代表之。此種線段名爲矢。線段的長度代表矢量的大小，箭頭的方向代表力的作用指向(Sense)，線段的方位(Direction)則與力的作用線平行。僅須代表矢量的大小和方向的矢，名爲不定位矢，可於任一與力的作用線平行的直線上畫出之。同時須代表力的作用線的矢，必須就在作用線上畫出之，名爲定位矢。如欲表明力的作用點，則此點可以取爲矢的一端。



9. 力的分類 力可以分爲接觸力(Forces of contact)與超距力(Forces at a distance)。力的作用,必待兩物體互相接觸後方能發生者,例如桌椅對於地板的壓力,汽缸中蒸汽對於活塞的推力,都是接觸力;此種力的作用點分佈於接觸面面積,故又名爲表面力(Surface forces)。兩物體間力的作用,不必互相接觸即可發生者,例如萬有引力、磁力等,名爲超距力;因此種力的作用點分佈於物體的全部,故又名爲物體力(Body forces)。力學中最主要的物體力是重力。

接觸力的作用面,如與物體的全表面比較,極爲微小,則此接觸面可視爲一接觸點,即力的作用點,接觸力可視爲一集中力,其作用線經過此接觸點。

一個力或多個力組成力系(Force system)。一力系中各力的作用線如均相交於同一點,名爲共點(Concurrent)力系,否則名爲非共點的(Non-concurrent)。如各力的作用線均在同一平面,則名爲共面(Coplanar)力系,否則名爲非共面的(Non-coplanar)。如各力的作用線均互相平行,則名爲平行(Parallel)力系,否則名爲不平行的(Non-parallel)。力系中各力的作用線,均在同一直線上者,名爲共線(Collinear)力系。

一力系作用於一物體而不發生任何外效應,則力系中各力互成平衡,名爲平衡力系。受此種力系作用的物體,名爲平衡的物體。作用於靜止物體的力系,必爲一平衡力系。被一非平衡力系所作用的物體,其運動必有改變。非平衡力系必有合力。

兩個力系,分別作用於同一物體而發生相同的外效應,則名爲相當(Equivalent)力系。一個力系最簡單的相當力系,就是力系的合力(Resultant)。力系的合力通常是一個單力。有的力系的合力,是大小相同方向相反而不沿同一直線作用的兩個力,名爲力偶(Couple)。還有一種力系,它的合力是一個力和一個力偶。

使一個力系歸併成爲較簡單的相當力系,名爲合成;反之使力系擴變成爲較繁複的相當力系,名爲分解。一個力可以分解成兩個或多個分力。

10. 平行四邊形與三角形定律 平行四邊形定律是力的合成與分解所根據的基本原理。由經驗與實驗即知其真確。此定律可陳述如下：

經過一點，以同一比例尺畫出二矢量，分別代表二共點力，箭頭朝外；以此二矢量為隣邊，作平行四邊形，則經過共點畫出的對角線，即代表此二共點力的合力。

例如：圖 2 (a) 的 P 與 Q 為作用於剛體 MN 的兩個力。設經過任一點 O ，圖 2 (b)，作矢量 OA 與 OB ，其長短與方向各代表 P, Q 二力的大小與方向。作平行四邊形 $OACB$ ，則矢量 OC 即代表 P 與 Q 合力的大小與

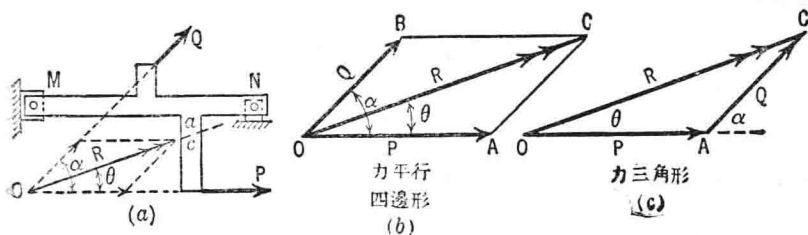


圖 2.

方向(但不代表合力的作用線)。可用原比例尺量其大小，用量角器測其對 P 力與 Q 力的傾角。

如經過二力作用線的相交點 O ，圖 2 (a)，作平行四邊形，則所得的對角線，除代表合力的大小與方向外，同時亦代表合力的作用線。換言之，如將矢量圖(圖 2 b)平移使與位置圖(圖 2 a)相重疊，則合力的三個特徵，即大小，方向，與作用線，均可由對角線 OC 代表之。不過，在許多問題中，仍以將位置圖與矢量圖分別畫出，較為方便。由矢量圖決定合力的大小、方位、和指向，由位置圖決定合力作用線上的某一點；由合力的方位及作用線上的任一點，即可決定合力的作用線。

三角形定律 圖 2 (b) 中之 AC 線，亦代表 Q 力的大小與方向。故如連續畫出代表 P 與 Q 二力的矢量，首尾相銜，以此二矢量為三角形的兩