

部定大學用書

工程力學

國立編譯館大學用書編審委員會主編

徐迺良編著

國立編譯館出版

臺灣開明書店印行

部定大學用書

工程力學

徐迺良編著



國立編譯館出版
臺灣開明書店印行

民國六十一年九月初版發行
民國六十七年八月五版發行

每冊基價五元

(按照同業規定倍數發售)

部定大學用書
工程力學

有著作權·不准翻印

主編者

國立編譯館
大學用書編審委員會

編著者

徐 廼 良

出版者

國立編譯館

印刷者

臺灣開明書店

總發行所

臺北市中山北路一段七七號
電話 五二五九 五二六〇 五二六四
郵局劃撥帳號第一二五七號

臺灣開明書店

行政院新聞局登記證：局版臺業字第〇八三七號

序 言

1. 本書係應 國立編譯館之約而編寫的，其目的在爲國內各大學或獨立學院所授的“工程力學”，提供一本合適的教本。
2. 本書分爲靜力學和動力學兩部分。每週授課三小時，兩學期可以授畢。
3. 書中錯誤之處，在所難免，敬請多予指正。
4. 本書承戴永義，張華民，吳嘉祥，林石甫，四位先生擔任繕稿，製圖，和校對的工作，特此致謝。

編 者

六十年七月於台南

工程力學

目 錄

靜 力 學

第一章 基本觀念.....	1
1-1 數學模型.....	1
1-2 質點.....	1
1-3 剛體與非剛體.....	1
1-4 參考坐標.....	2
1-5 靜止與運動.....	2
1-6 向量與無向量.....	3
1-7 力.....	3
1-8 運動效果與變形效果.....	4
1-9 內力和外力.....	4
1-10 力系.....	5
1-11 等值力系與平衡力系.....	5
1-12 力偶.....	5
1-13 力系的合力.....	5
1-14 一力對一軸所生的力矩.....	6

1-15	一力對一點所生的力矩	7
1-16	力學的範圍	7
1-17	靜力學的幾個基本原理	8
1-18	分離物體圖	11
第二章	向量的運算及其應用	21
2-1	緒論	21
2-2	向量的加減	22
2-3	向量的分解	24
2-4	一向量與一無向量相乘	26
2-5	單位向量與向量方程式	27
2-6	兩個向量的無向積	33
2-7	兩個向量的有向積	36
2-8	三個向量的乘積	41
2-9	一向量對一無向量的微分	41
2-10	一向量對一無向量的積分	44
2-11	位置向量	51
2-12	一點的線位移	52
2-13	剛體的角位移	55
2-14	一力對一點所生的力矩	58
2-15	力矩定理	59
2-16	一力對一軸所生的力矩	63
2-17	力偶矩	67
第三章	同直線力系和同平面共點力系	77
3-1	緒論	77
3-2	同直線力系的合力	79

3-3	同直線力系的平衡條件	80
3-4	同平面共點力系的合力	80
3-5	同平面共點力系的平衡條件	84
3-6	力的分解	91
3-7	三個同平面，非平行力的平衡	94
第四章	同平面平行力系	101
4-1	兩個同向平行力的合力	101
4-2	兩個方向相反，大小不等的平行力的合力	103
4-3	力偶的特性	103
4-4	在同一平面內，一單力與一力偶的合力	110
4-5	將一單力分解成一個力偶和一個單力	111
4-6	同平面平行力系的合力	113
4-7	合力的求法	114
4-8	同平面平行力系的平衡條件	120
第五章	同平面一般力系	128
5-1	合力的求法	128
5-2	同平面一般力系的平衡條件	132
5-3	與索的多邊形有關的兩個定理	141
第六章	空間共點力系	148
6-1	合力的求法	148
6-2	空間共點力系的平衡條件	152
第七章	空間平行力系	157
7-1	空間平行力系的合力及其求法	157
7-2	空間平行力系的平衡條件	159
7-3	兩個同向平行力的中心	161

7-4	一組空間的同向平行力的中心·····	161
7-5	剛體的重心·····	163
7-6	剛體的質量中心·····	165
7-7	體積，面積，和線的形心·····	166
7-8	巴勃定理·····	169
7-9	分布力·····	179
第八章	空間一般力系·····	184
8-1	空間一般力系的合力·····	184
8-2	合力的求法·····	186
8-3	空間一般力系的平衡條件·····	192
8-4	剛體的各種運動·····	199
8-5	自由度·····	200
8-6	二力構件與多力構件·····	202
8-7	使剛體靜止所需的充分而必要的拘束·····	203
第九章	磨擦阻力·····	211
9-1	緒論·····	211
9-2	磨擦阻力定律·····	212
9-3	靜磨擦係數，靜磨擦角，與靜止角·····	212
9-4	最小拉力·····	214
9-5	楔·····	215
9-6	螺旋千斤頂·····	217
9-7	皮帶磨擦阻力·····	220
9-8	滾動阻力·····	221
9-9	樞軸磨擦阻力·····	222
第十章	靜定的平面構架與平面吊纜·····	240

10-1 剛架	240
10-2 靜定的平面構架	240
10-3 平面單構架的組成	241
10-4 平面單構架的分析	243
10-5 接頭法	243
10-6 剖面法	250
10-7 馬克斯威爾和克利蒙拿的圖解法	256
10-8 合成構架	262
10-9 複構架	268
10-10 平面吊纜 (或吊鏈)	275
10-11 平面吊纜 (或吊鏈) 的分析：直立負荷沿水平跨 距均勻分布者	275
10-12 吊纜的分析：直立負荷沿纜的中心線均勻分布者	281
第十一章 功和虛功原理	286
11-1 功	296
11-2 虛功原理	296
11-3 靜力平衡的安定性	317
11-4 保守力	328
11-5 保守系統的位能	330
11-6 保守系統的虛位能原理	333
第十二章 慣性矩和慣性積	341
12-1 平面面積的慣性矩和慣性積	341
12-2 平面面積的迴轉半徑	341
12-3 平面面積的極慣性矩	342

12-4	平行軸定理—坐標軸移動時，平面面積的慣性矩和慣性積的變換定理·····	342
12-5	轉動軸定理—坐標軸轉動時，平面面積的慣性矩和慣性積的變換定理·····	344
12-6	主軸·····	346
12-7	集成面積的慣性矩和慣性積·····	347
12-8	剛體的慣性矩和慣性積·····	363
12-9	剛體的迴轉半徑·····	364
12-10	平行軸定理—坐標軸移動時，剛體的慣性矩和慣性積的變換定理·····	365
12-11	轉動軸定理—坐標軸轉動時，剛體的慣性矩和慣性積的變換定理·····	366
12-12	主軸和主慣性矩·····	369
12-13	集成剛體的慣性矩和慣性積·····	372

動 力 學

第十三章	質點的運動學·····	389
13-1	緒論·····	389
13-2	質點的位移，速度，和加速度·····	390
13-3	以直角坐標表達一質點的運動·····	393
13-4	以圓柱面坐標或極坐標表達一質點的運動·····	409
13-5	以球面坐標表達一質點的運動·····	416
13-6	以切線和法線坐標表達一質點的運動·····	420

13-7	兩個質點的相對運動	429
13-8	角位移, 角速度, 和角加速度	433
13-9	動坐標系統	434
第十四章	質點的動力學	454
14-1	牛頓的三個定律	454
14-2	質點動力學的基本方程式	454
14-3	合力法	456
14-4	線衝量與線動量法	462
14-5	功能法	467
14-6	惰力法	474
14-7	角衝量與角動量法	478
14-8	各種方法的運用	483
第十五章	質點動力學的應用	488
15-1	緒論	488
15-2	一物體在阻力介質中的下落	488
15-3	拋射運動	491
15-4	一質點在中心力場內的運動	496
15-5	行星的軌道	498
15-6	一個自由度的諧和振動	503
15-7	衝擊	515
15-8	噴射推進	524
15-9	電子在電磁場內的運動	525
第十六章	質點系的動力學	530
16-1	緒論	530
16-2	一個質點系的质量中心的運動方程式	530

16-3	一個質點系的動能	536
16-4	功能法	539
16-5	線衝量與線動量法	544
16-6	一個質點系的角動量	549
16-7	力矩與角動量	554
16-8	角衝量與角動量法	558
第十七章	剛體的運動學	563
17-1	緒論	563
17-2	剛體運動學的一般方程式	563
17-3	剛體移動時，其中任一點的運動	564
17-4	剛體繞定軸轉動時，其中任一點的運動	566
17-5	剛體作平面運動時，其中任一點的運動	569
17-6	剛體繞定點轉動時，其中任一點的運動	580
17-7	剛體作一般運動時，其中任一點的運動	584
第十八章	剛體的動力學	588
18-1	緒論	588
18-2	剛體的角動量	588
18-3	合力法	591
18-4	惰力法	618
18-5	功能法	633
18-6	衝量與動量法	650
附錄 I	參考書	665
附錄 II	中英名詞對照表	666

第一章 基本觀念

1—1 數學模型

宇宙萬物，變化無窮，欲知其果，必須先知其因，一般而論，這好像是一個天經地義的道理。不過，任一事件的發生，原因很多，牽涉很廣，倘將所有因素加以考慮，勢將無法獲得任何結論。因此，在探討某一自然現象時，祇能考慮其主要因素，而略去其次要因素，從而為該項自然現象塑成一個比較簡化的數學模型。根據這個數學模型，推出一個近似的結果。倘此近似結果與實際觀察的結果，相當接近時，該項數學模型，即可成立。不然的話，就得重新塑造另一數學模型了。

同一物體，在不同的情況下，可以變成不同的數學模型。例如，在分析地球繞着太陽的迴轉運動時，常把地球當做質點來處理；但在研究地球上的潮汐時，就不能再把地球看做質點了。

1—2 質 點

當一物體的最大尺寸，遠比其動程為小時，則該物體即被視為質點。分析質點的運動時，祇考慮其移動，而略去其自轉運動。在研究各個行星繞着太陽的迴轉運動時，可將各該行星當做質點來處理。

1—3 剛體與非剛體

當一物體受力時，倘其形狀與大小俱無變化，即稱之為剛體；倘其形狀或大小有相當的變化時，則稱之為非剛體。宇宙之間，尚無絕

對剛體的存在，蓋任何物體，在受力時，其形狀與大小，總得有相當的變化。不過，當上述變化極小時，即可略去該項變化，而將該物體視為剛體。

1—4 參考坐標

在研究各種自然現象時，坐標的選擇頗為重要。倘若選擇不當，將使簡單的問題，轉趨複雜。因此，在研究力學問題時，必須選擇適當的坐標，使得各個有關的定律，能以最簡單的形式出現。

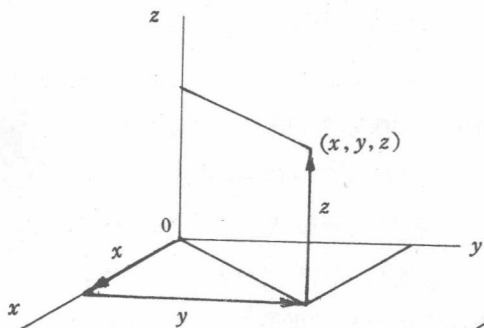


圖 1—1

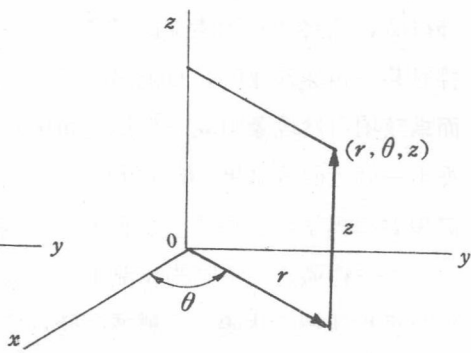


圖 1—2

在牛頓力學中，以牛頓所定出的數學模型為準，在其數學模型中，牛頓假定其參考坐標，連接在太陽上，同時把太陽看做是一個靜止不動的恒星。但在工程上，我們常假定參考坐標連接在地球上，在此情形下，因地球繞着太陽的迴轉運動，以及地球的自轉而帶來的誤差，通常是很小的，對分析的結果，並沒有多大的影響。坐標的型式很多，經常所採用的是直角坐標，和圓柱坐標，如圖 1—1 與 1—2 所表者。

1—5 靜止與運動

在探討物體的靜止和運動時，必須有一參考坐標為依據，否則將

無任何意義可言。在一參考坐標內，倘一物體的位置，不隨時間而變化時，則被視為靜止；倘其位置隨着時間而變化時，則被認為具有相當的運動。

1—6 向量與無向量

既有大小，又有方向的量，如力，速度，等等，通常稱之為向量；祇有大小而無方向的量，如時間，溫度，等等，則稱之為無向量。向量又可分為三類：

- (1)自由向量 凡一向量，其原點可以自由決定，不受任何拘束者，稱之為自由向量。
- (2)滑動向量 凡一向量，其原點可在其向量直線上自由移動者，稱之為滑動向量。
- (3)拘束向量 凡一向量，其原點是固定的，唯一無二的，稱之為拘束向量。

通常所稱的向量，是指自由向量而言。關於向量的運算和應用，將在第二章中，詳細的加以介紹。

1—7 力

力是一種作用，當它作用於一物體時，將使該物體的運動狀態，發生相當的變化。力是一個拘束向量。表達一力時，必須把它的大小，方向，和作用點，同時表出，缺一不可。

欲測定一力的大小，必須事先定出一個客觀的單位。在工程上，通常所採用的單位是磅（英制）和克（公制）。倘一力的大小，共有十個英制單位，則該力的大小，應為 10 磅，餘類推。

當一力作用於一物體時，將使該物體沿着某一方向移動，此項移

動的方向，即代表該力的方向。

力必須通過一定的面積或體積，纔能傳到物體上，絕不能從一點作用到物體上。不過，在不影響物體的靜力平衡的條件下，可以假定它集中在某一點，而將該點看做它的作用點。

既知大小，方向，和作用點的意義，就可以按照下列方法，作出一力的向量：

參閱圖 1—3。倘有一力，大小為已知，作用於物體 B 上的 A 點，

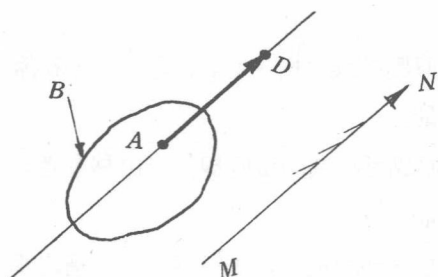


圖 1—3

使得物體 B 沿着 MN 所指的方向而移動。通過 A 點，作一直線與 MN 平行，此直線通常被稱為該力的作用線。在此作用線上，取一線段 AD，使其長度能依既定的比例尺，代表該力的大小。最後依照 MN 所指的方向，在 AD 線上畫出一箭頭，

則向量 $\vec{AD}$ 即係該力的向量。

1—8 運動效果與變形效果

當一力作用於一物體時，可使該物體的運動狀態發生變化，這就是力的運動效果。又在物體受力時，其形狀大小可能發生變化，這就是力的變形效果。

1—9 內力和外力

一物體所受之力，來自該物體的外界者，對該物體而言，稱之為外力；來自該物體之內部者，對該物體而言，則稱之為內力。由於物

體邊界的轉變，原係內力者可以轉變成外力，原係外力者可以轉變成內力。例如太陽與地球之間，互有引力，單獨就太陽而論，地球施於太陽的引力，是太陽所受的外力；單獨就地球而論，太陽施於地球的引力，是地球所受的外力。倘對整個的太陽系而論，上述兩引力，就變成太陽系所受的一對內力。物體所受的內力，經常是成對的，並且是互相平衡的，所以對整個物體的運動，沒有任何的影響。

1—10 力 系

當一物體受到很多力時，我們可在其中，任意選出幾個力，成爲一組，加以處理，並且把這一組看成一個力系。

1—11 等值力系與平衡力系

一力系與另一力系，對同一物體分別所生的運動效果，完全相同時，則兩者互爲等值力系。

一力系對任一物體，不發生運動效果時，則稱之爲平衡力系。所有的平衡力系，彼此互爲等值力系，蓋各個平衡力系分別對一物體所生的運動效果皆相同，同爲零也。

1—12 力 偶

力偶是由兩個大小相等，方向相反的平行力所組成。組成力偶的兩個平行力，稱之爲力偶力。兩個力偶力的作用線所決定的平面，稱之爲力偶平面。兩個力偶力的作用線間的垂直距離，稱之爲力偶臂。有關力偶的各種特性，在第三章中，將作詳細的介紹。

1—13 力系的合力