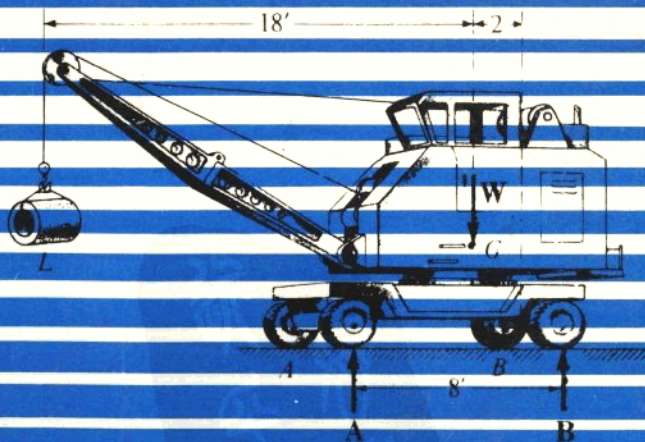


科技用書

應用力學

李志舟 合編
施殿金

依照教育部民國七十二年頒布
新課程標準編著

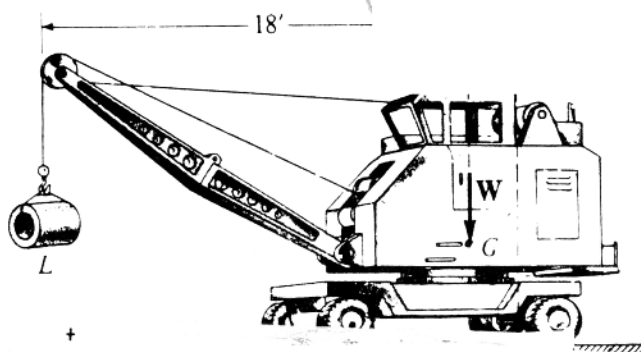


大行出版社印行

科技用書

應用力學

李志舟 合編
施殿金



大行出版社印行



中華民國七十六年九月三日版

書名：應用力學（新版）

著作者：李志舟・施殿金合著

發行人：裴振九

出版者：大行出版社

社址：台南市體育路41巷26號

電話：2613685號

本社免費郵政劃撥帳號南字第32936號

本社登記證字第：行政院新聞局

局版台業字第0395號

總經銷：成大書局有限公司

台南市體育路41巷26號

電話：2651916號

印刷者：信宏美印刷廠

廠址：台南市公園路593巷127弄2號

電話：(06)2521139號

特價：新台幣二五〇元

編號：T0029-00178

同業友好・敬請愛護

編輯大意

- 一、本書係遵照教育部七十二年一月頒佈五年制工業專科學校機械工程科課程標準編著。
- 二、爲適應當今勢潮，並遵照教育部通令各專科學校宜採用公制之規定，配合國家教育政策，本書所用之度量單位，悉依我國國定標準，採用公制之工程單位。
- 三、爲增強學生對課程內容之瞭解，對問題獲得周詳之解釋，本書特以向量分析作爲研究力學之有效工具，俾益學者。
- 四、全書共分十三章，第一章到第八章屬於靜力學，第九章到第十三章屬動力學，其內容可供每週4小時講授，一學期講完。書內章節有•符號者，可視學生之程度，予以刪減，或摘要講解。
- 五、本書稿成，歷時載半，多於課餘之暇，雖經多次校訂，舛誤之處，在所難免，尙祈先進學者，隨時予以指正，無任感戴。

編著者 謹識

應用力學目錄

第一章 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	4
1-4	因次齊次定律	4
1-5	純量與向量	5
	習題一	11

第二章 向量運算

2-1	基本概念	12
2-2	向量加減法，一向量與一純量之乘法	21
2-3	兩向量之純量積	27
2-4	兩向量之向量積	31
2-5	三向量之乘積	37
	習題二	40

第三章 力

3-1	力之特性	46
3-2	內力與外力	47
3-3	力之可移性原理	48
3-4	力之合成與分解	49
3-5	一力對一點之力矩	55
3-6	一力對一軸之力矩	58
3-7	力矩原理	60

3-8	力偶與偶矩	64
3-9	力偶之變換	68
3-10	分解一力爲一力及一力偶	68
	習題三	71

第四章 力系之合力

4-1	力 系	81
4-2	等值力系	83
4-3	力系之合力	83
4-4	共線力系之合力	84
4-5	共面共點力系之合力	84
4-6	共面平行力系之合力	88
4-7	共面非共點非平行力系之合力	94
4-8	空間共點力系之合力	100
4-9	空間平行力系之合力	102
4-10	空間非共點非平行力系之合力	104
4-11	結 論	110
	習題四	110

第五章 力系之平衡

5-1	概 說	120
5-2	分離體圖	121
5-3	平衡力系之平衡條件（注意二力件及三力件之平衡）	125
5-4	解平衡問題之步序	135
5-5	平面構架	135
5-6	構架分析	139
5-7	撓性繩索	148
5-8	拋物線索	148

5-9	懸 索	151
5-10	空間力系之平衡條件	155
	習題五	162

第六章 摩 擦

6-1	摩擦之性質	172
6-2	摩擦定律	173
6-3	摩擦係數	174
6-4	摩擦角與摩擦圓錐	175
6-5	含摩擦力之問題	178
6-6	撓性帶與平皮帶之摩擦	183
6-7	三角皮帶之摩擦	187
6-8	螺 旋	189
6-9	推力軸承與圓盤離合器之摩擦力矩	193
6-10	滾動摩擦	195
	習題六	196

第七章 重心與形心

7-1	概 說	207
7-2	質點系之重心	207
7-3	物體之重心心	210
7-4	形 心	212
7-5	以積分法求形心與重心	216
7-6	組合體之形心與重心	225
7-7	巴波定理	229
7-8	壓力中心	234
	習題七	239

第八章 慣性矩 (二次矩)

8-1	概 說	251
8-2	面積慣性矩	252
	1. 定義	252
	2. 平行軸定理—轉移公式	254
	3. 以積分法求面積之慣性矩	256
	4. 環動半徑	266
	5. 組合面積之慣性矩	268
	6. ※慣性積	269
	7. ※面積之最大及最小慣性矩 (主慣性矩)	273
	8. ※面積慣性矩之莫氏圓	279
8-3	質量慣性矩	282
	1. 定義	283
	2. 質量之平行軸定理	285
	3. 以積分法求質量之慣性矩	286
	4. 質量之環動半徑	289
	5. 組合質量之慣性矩	290
	習題八	295

第九章 運動學——絕對運動

9-1	概 說	305
9-2	基本定義	305
9-3	質點運動學—切線及法線坐標	311
9-4	質點運動學—極坐標	318
9-5	質點運動學—圓柱坐標	312
9-6	剛體之運動	325
	習題九	330

第十章 運動學——相對運動

10-1	概 說	335
10-2	相對位移—動座標	336
10-3	相對速度	340
10-4	平面運動之瞬時中心	344
10-5	相對加速度	348
10-6	對迴轉座標之相對運動	352
	習題十	360

第十一章 力、質量及加速度

11-1	概 說	368
11-2	牛頓之運動定律	368
11-3	質點之運動方程式	371
11-4	質點系質心之運動	373
11-5	解動力學問題之步驟	376
11-6	剛體之移動	380
11-7	剛體之迴轉	384
11-8	剛體之平面運動	390
11-9	達蘭貝特原理	397
	習題十一	399

第十二章 功與能

12-1	概 說	408
12-2	力或一力系所作之功	408
12-3	能	415
12-4	勢 能	416
12-5	一個質點之動能	419

12-6	剛體之動能	422
12-7	功與動能原理	424
12-8	能量之守恒	429
12-9	功率與效率	431
12-10	機械能之散失	433
12-11	結 論	434
	習題十二	435

第十三章 衝量與動量

13-1	概 說	443
13-2	線衝量	443
13-3	線動量	445
13-4	線衝量與線動量原理	446
13-5	可變質量系	449
13-6	線動量守恒	452
13-7	彈性撞擊	456
13-8	角動量	460
13-9	角動量原理	464
13-10	角衝量與角動量原理	467
13-11	角動量守恒	471
13-12	中心力運動	473
13-13	迴轉儀與陀螺	475
13-14	結 論	479
	習題十三	479
	索 引	489

第一章 概 論

1-1 概 說 (Introduction)

力學爲研討或預測物體受外力作用時保持靜止或運動狀態之科學。因研究之對象，有偏重理論者，亦有着重於應用者。前者稱爲理論力學 (theoretical mechanics)，後者稱爲應用力學 (applied mechanics)。應用於工程之力學，特稱爲工程力學 (engineering mechanics)。工程力學爲現代工程科學之基礎，故攻讀工程之學者，必須仔細研習之。

工程力學又因適用之範圍不同，復可分成下列三部門：

1. 剛體力學 (mechanics of rigid bodies)

在介紹剛體力學前，須先瞭解自然體與剛體之區別。

自然體 (physical bodies)：物體受外力作用後，多少會產生一些變形 (deformation)，這種物體稱爲自然體，如圖 1-1 a 所示。



圖 1-1

剛體 (rigid bodies)：一物體受外力作用時，不產生任何變形，這種物體稱爲剛體，如圖 1-1 b 所示。

剛體爲一理想之物體。事實上，物體受外力作用時，多少會產生一些變形。討論物體受外力作用後所產生之平衡或運動時，均假設該物體爲剛體，而對其保持平衡或運動之狀態，毫無影響。此種以剛體爲研究對象之力學，稱爲剛體力學。剛體力學又可分爲靜力學 (statics) 與動力學 (dynamics)。應用力學即爲剛體力學之一種。

2. 變形體力學 (*mechanics of deformable bodies*)

變形體即自然體。討論物體受外力作用後變形之情況，謂之變形體力學。變形體力學可分爲(1)材料力學 (strength of materials)，(2)彈性力學 (theory of elasticity)，及(3)塑性力學 (theory of plasticity)。

3. 流體力學 (*mechanics of fluids*)

流體力學係研討流體受外力作用後產生之各種變化；其所研究之流體，又可分爲不可壓縮流體及可壓縮流體。水力學 (hydraulics) 爲研究不可壓縮流體中重要之一環。

變形體力學及流體力學，本書均不予討論。

1-2 基本因次與單位 (*Fundamental Dimensions and Units*)

物理學中最基本之觀念爲質量 (mass)、長度 (length)、與時間 (time)。吾人對此類觀念之印象，僅以官能之感覺，不能深入研究和精確度量。因此，吾人必須建立一標準體系，以表示此類基本觀念之物理量。這些物理量，我們常用因次 (dimension) 表示之。表示基本物理量之因次，稱爲基本因次。物理學中使用之基本因次爲質量、長度、與時間，分別以 $[M]$ 、 $[L]$ 、

與〔T〕表示。這種因次稱為絕對基本因次。在此體系內，“力”為依據牛頓第二運動定律 $F = m a$ 之公式，推導而得之因次，即〔 $ML T^{-2}$ 〕。其他之物理量，依據此三個基本獨立因次導出者甚多，將於下節討論之。

工程應用上，以力、長度、與時間為基本因次，且分別以〔F〕、〔L〕及〔T〕表示。這種因次，稱為重力基本因次。在此體系內，質量為依據此三個獨立基本因次推導而得，故為導出因次。

物理量之因次，只代表其性質，而不計其大小。如長為6公分與30公尺之兩個距離，因均為長度，故其因次亦相同，均以〔L〕表之。因次不同，表示之物理量不同；如長度與時間，因次各為〔L〕與〔T〕，故兩者不能相加。有的因次雖屬相同，但未必代表同一物理量。如“力矩”和“功”的因次，都是〔 $ML^2 T^{-2}$ 〕，但兩者之物理性質不同，宜加注意。

基本因次之大小，又必須建立一標準量，俾便互相比較。這種標準量，稱為單位（units）。雖然單位可任意選擇，但因現代科學進步，國與國間之交往日繁，宜採用一種國際間之標準單位。現在國際間已協議採用法國制定之公制單位，為國際單位*（International Systems of Units），簡稱SI Units。

基本因次分絕對基本因次（物理學採用）與重力基本因次（工程力學採用），茲將這兩種基本因次所定之基本單位分述如下：

（1）絕對基本因次之公制單位

長度：以經過巴黎子午線，自地球赤道至北極長度的千萬分之一，訂為1公尺**，或稱一米，即1 m（meter）。

質量：以存放於巴黎國際度量衡局內之鉑銥合金圓柱體之質量

* 英、美等國在工程上雖仍採用英制單位，但已日漸為國際公制單位所取代。

** 有採用以光波長度對1公尺所作之嚴密定義，在此從略。

4 應用力學

，定爲1公斤，或稱1仟克，即 $1\text{ kg}(\text{m})^*$ (Kilogram)。

時間：以一平均太陽日之 $1/86,000$ 爲1秒，或 $1\text{ sec}(\text{sec} - \text{ond})$ 。

因此制度長度之基本單位爲 m ，質量之基本單位爲 $\text{kg}(\text{m})$ ，時間之基本單位爲 sec ，故亦稱 MKS 制。若長度之單位採用1公分 ($1/100$ 米)，即 1 cm ；質量之單位採用1公克 ($1/1000$ 公斤)，即 1 g ；時間之單位仍爲1秒，則稱此單位制爲 CGS 制。

(2) 重力基本因次之公制單位

重力公制單位 MKS 中之長度、時間，與絕對公制單位中之 MKS 制之長度、時間單位相同。力之單位爲公斤，或仟克，以符號 $\text{kg}(f)^{**}$ 表之。1 公斤之力，爲作用於巴黎度量衡局內之鉑銥合金圓柱體（其質量爲 $1\text{ kg}(\text{m})$ ），能使之產生 9.81 m/sec^2 之加速度。

1-3 誘導因次與單位 (*Derived Dimensions and Units*)

有些物理觀念，常以幾個基本因次表示之。此種由基本因次導出之因次，稱爲誘導因次，其物理量，稱爲誘導量。誘導量之單位，係由其所組成之基本量之單位表示之。

上節中之絕對基本因次爲 $[M]$ 、 $[L]$ 、 $[T]$ 。“速度”之因次可依物理之定義導出。因速度爲物體運動之位移對所經時間之變率，故

$$\text{速度} = \frac{\text{位移}}{\text{時間}} = \frac{[L]}{[T]} = [L][T^{-1}] = [LT^{-1}]$$

* $\text{kg}(\text{m})$ 爲一個符號，不可分開；代表1公斤之質量。

** $\text{kg}(f)$ 爲力之單位，與絕對單位中質量單位 $\text{kg}(\text{m})$ 之意義不同。本書係採用重力公制單位 MKS 制，爲簡便計，書內均以 kg 代表 $\text{kg}(f)$ ，即以 kg 表示1公斤之力。

速度之單位亦可依基本量之單位導出如下：

$$\begin{aligned}\text{速度} &= \frac{[L]}{[T]} = \frac{1 \text{ 公尺}}{\text{秒}} \\ &= 1 \text{ m / sec (或 } 1 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1} \text{)}\end{aligned}$$

同理，因“加速度”為速度對時間之變率，故得其誘導因次為

$$\text{加速度} = \frac{\text{速度}}{\text{時間}} = \frac{[L T^{-1}]}{[T]} = [L T^{-2}]$$

其誘導單位為

$$\begin{aligned}\text{加速度} &= \frac{[L T^{-1}]}{[T]} = \frac{1 \text{ m / sec}}{\text{sec}} \\ &= 1 \frac{\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}}{\text{sec}} = 1 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-2}\end{aligned}$$

由此，可依據牛頓第二運動定律 $F = ma$ ，可導出“力”之因次與單位如下：

$$F = ma = [M] [L T^{-2}] = [M L T^{-2}]$$

其誘導單位為

$$\begin{aligned}F &= [M L T^{-2}] \\ &= 1 \text{ kg (m)} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-2}\end{aligned}$$

為簡便計，定義如此大小之力為1牛頓（Newton），以N表示之。力之單位亦可定義為：作用於1千克質量之物體，使之產生每秒每秒1公尺加速度之力，其值為1牛頓（圖1-2）

* 式中 F 代表作用力， m 為物體之質量， a 為產生之加速度。

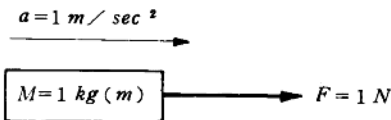


圖 1-2

絕對基本因次之 MKS 制中，物體之重量亦應以牛頓表示。設質量 1 公斤之物體，其重量為 W ，因其自由落體加速度 $g = 9.81 \text{ m / sec}^2$ (圖 1-3)

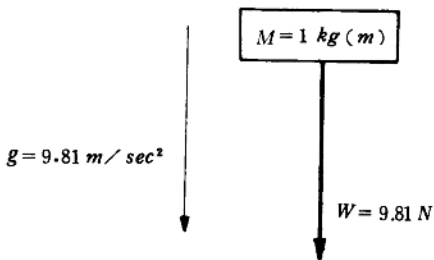


圖 1-3

故得

$$\begin{aligned} W &= Mg = [1\text{kg}(m)] [9.81\text{m} / \text{sec}^2] \\ &= 9.81\text{kg}(m) \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-2} \\ &= 9.81 \text{ N} \end{aligned}$$

重力基本因次為 $[F]$ 、 $[L]$ 、 $[T]$ ，其速度與加速度之誘導因次與誘導單位與由絕對基本因次導出者相同。因重力基本因次中，質量為導出因次，其單位亦為導出單位。根據牛頓第二運動定律

，可得質量之導出因次如下：

$$F = m a$$

$$m = F / a = \frac{[F]}{[L T^{-2}]} = \frac{[F T^2]}{[L]} = [F L^{-1} T^2]$$

其導出單位爲

$$m = [F L^{-1} T^2] = 1 \text{ kg(f)} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{sec}^2$$

爲簡便計，稱此質量單位爲1米斯勒 (metric slug)。

爲便於參考，將公制中各種單位制之性質及名稱列於表1-1中。

表 1-1 各種單位制之性質及名稱

基本因次單位	重 力 單 位 (工 程 適 用)	絕 對 單 位 (物 理 學 適 用)		
基 本 量 〔因次〕	力 長 度 時 間 〔F〕〔L〕〔T〕	質 量 〔M〕	長 度 〔L〕	時 間 〔T〕
名 稱	MKS	MKS	CGS	
力 (Force)	公斤 (Kilogram) kg kg(f)	牛頓 (Newton) N kg(m)·m·sec ⁻²	達 因 (Dyne) dyne g(m)·cm·sec ⁻²	
長 度 (Length)	公尺 (meter) m	公尺 (meter) m	公 分 (centimeter) cm	
時 間 (Time)	秒 (second) sec	秒 (second) sec	秒 (second) sec	
質 量 (Mass)	米 斯 勒 (metric slug) metric slug kg(f)·m ⁻¹ ·sec ²	公斤 (kilogram) kg kg(m)	公 克 (gram) g g(m)	